

帆船时代的海洋学

［澳］伊安·琼斯
［澳］乔伊斯·琼斯 著
李允武



海洋出版社

责任编辑：柴秋萍
封面设计：徐蓓蓓

FANCHUAN SHIDAI DE HAIYANGXUE



ISBN 978-7-5027-6887-4/P·1001
定价：30.00元

帆船时代的海洋学

[澳]伊安·琼斯
[澳]乔伊斯·琼斯　著
李允武

海洋出版社

2007年·北京

图书在版编目(CIP)数据

帆船时代的海洋学/(澳)琼斯(Jones, I.),(澳)琼斯(Jones, J.),李允武著. —北京:海洋出版社,2009.9

ISBN 978-7-5027-6887-4

Ⅰ.帆…　Ⅱ.①琼…②琼…③李…　Ⅲ.海洋学史-19世纪-普及读物　Ⅳ.P7-091

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第135211号

责任编辑:柴秋萍

责任印制:刘志恒

海洋出版社　出版发行

http://www.oceanpress.com.cn

北京市海淀区大慧寺路8号　邮编:100081

北京顺诚彩色印刷有限公司印刷　　新华书店发行所经销

2007年9月第1版　2007年9月北京第1次印刷

开本:787mm×1092mm　1/16　印张:14.5

字数:200千字

定价:30.00元

发行部:62147016　邮购部:68038093　总编室:62114335

海洋版图书印、装错误可随时退换

序

人类生活在2/3以上都覆盖着海洋的星球上。海洋是产品、信仰和思想从一个大陆传播到另一个大陆的媒介。欧洲文化启蒙后海洋学迅速发展,但在此以前很久,海洋的环境和资源就已唤起生活在海边的人的兴趣和好奇心,他们在沿岸航行和捕鱼。海域的特性有非常重要的实际意义。对大海的科学兴趣可以追溯到希腊罗马时代,特别是潮汐现象非常显见,成为人们感兴趣和观测的最早的课题。历史记载了这个海洋要素对亚历山大大帝和朱利乌斯·恺撒的军事行动的影响。为获得知识,观测和实验更加重要,对“自然历史”的研究进步了,并分成几门科学,而对海洋的研究也随着这些科学在进步。欧洲人派出的帆船走得越远,就越需要发展观测,才可能到更广、更远的海洋去。改进航海和减少沉船风险的实际目标支持观测,获得的知识能够对海洋作出更多的描述。有了改进了的仪器和测量、记录的能力,就有了对海洋特性的物理方面的兴趣,于是产生了物理海洋学这门科学。

太平洋海域在海洋学发展中起了重要作用,不仅太平洋沿海的科学家作出了贡献,而且在大洋洲启蒙的18世纪和19世纪一直是很多次欧洲科学家探险的焦点。在只有风帆动力的时代进行的这些探险面临着我们想象不到的困难和危险。他们的航海故事是当时广为传颂的,至今读来仍有无穷魅力,值得后人敬佩。

我们可能已经知道了最着名的探险家法国的布干维尔和拉彼鲁兹以及英国的詹姆斯·库克的故事,可是对19世纪欧洲人进人南半球达到高峰时代的另一些考察海岸线和探索深海的壮举却不那么熟悉。在这本书里我们回顾对海洋科学研究作出杰出贡献的那些人,主要是他们在物理海洋学和探测南大洋方面所做的工作。

在寻找南方大陆和考察太平洋之前科学知识已有显著进展，成为欧洲人感兴趣的学科和研究海洋科学的焦点。默里（1895）在“挑战者”号报告的章节中对早期地理知识和对潮汐、海流和波浪的知识的发现提供了很好的起点。但欧洲人以外文明的发现暂付阙如。

海洋测量大部分是为满足好奇心而做的，只有少数问题有直接实际意义。现在，一个多世纪以后，我们才可能应用当时劳动的果实来回答很多未曾提给我们前辈提出的重要问题：采油平台能抵御波浪和海流吗？鱼群能对海面流作出反应吗？最近又提出了旱灾与热带大洋表面温度的相关性如何？研究过去所做测量有可能解答气候变化率的问题，因为大洋是热量的巨大的储存池，能平滑温度的季节和年际起伏。我们还要继续在先人的好奇心驱使下所做的研究的基础上建立起对我们的星球环境的有效的管理。

悉尼大学海洋科学研究所

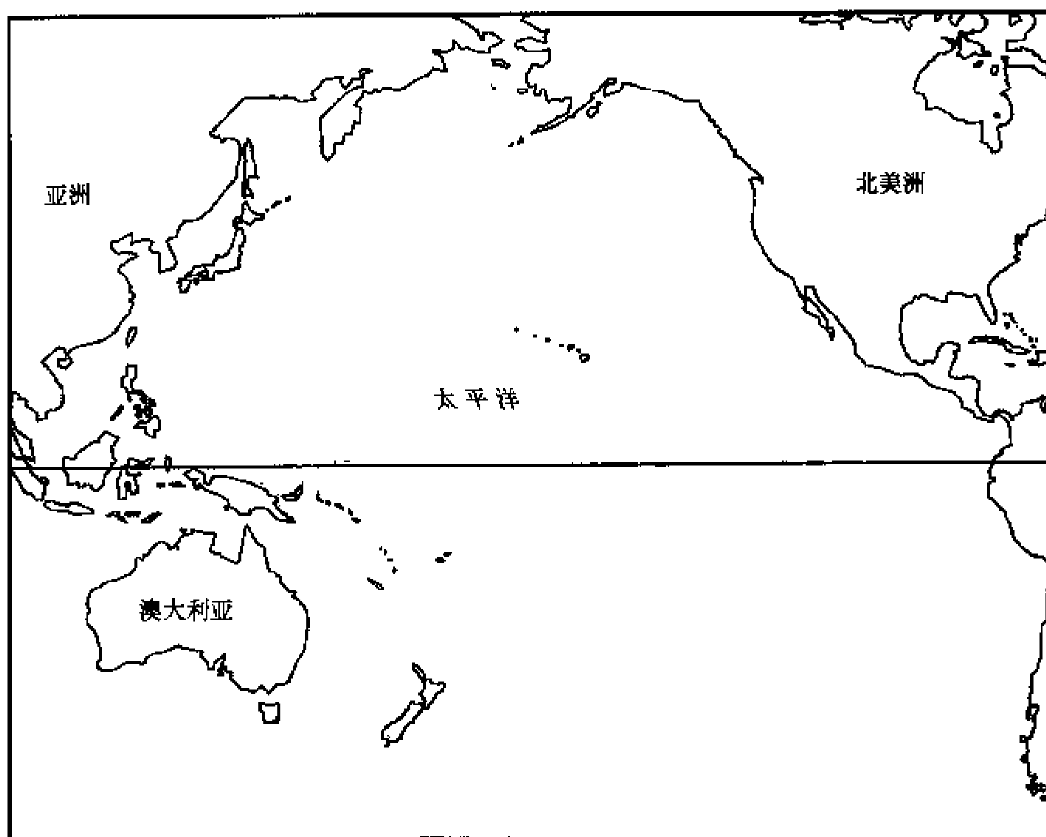
2004 年

“革命、政见转瞬即逝，而科学的事实常在，并铭记发现事实的那些人，他们是世代建立的证明人的精神不断进步的里程碑。”

迪蒙·迪维尔(1833)



迪蒙·迪维尔画像



太平洋

目　录

第一章　寻找南方末知大陆

早期的海洋知识

当贸易、征服和传教成为国家事务的驱动力时，海洋知识对人类有了实际的重要性。在海上安全地航行不仅依靠对海岸线、礁石和浅滩的知识，还需要了解潮、风和流。掌握这些信息代表强大的商业优势。贸易的竞争常常阻止信息的传播。

早期欧洲的商业文明，如克里特和腓尼基，是建筑在他们在封闭的地中海内短距离航线贸易的繁荣之上的。当商业活动扩展到地中海之外，海洋的潮、风、波知识就更加重要了。在东方的波斯帝国，造出更大的船舶用于印度洋，建立根据他们的海洋知识为水手定级的制度。

公元前55年，朱利乌斯·恺撒第一次入侵不列颠时已认识到海洋特性的知识的重要性了。搁浅在滩上和在浅海中抛锚的罗马舰队被风暴和大潮摧毁了。从几乎没有潮的地中海来的侵略者恺撒写道："那一夜是满月，那时大西洋的潮特别高，这是罗马人不知道的事实。"第二年又使罗马人惊讶的是，他们的第二次入侵的舰队被英吉利海峡的强潮流冲得偏航了，当转流时，他们费了很大的劲才找到去年在岛上确定的最佳登陆点。

13世纪忽必烈计划渡过朝鲜海峡入侵日本时也遇到了没有预计到的凶猛的台风，使舰队带着千万个生命葬身汹涌的海底。

在风是远洋航行的唯一动力时，积累在海洋中的风和流的知识对贸易的扩张和殖民是至关重要的。在公元第一个千年内善于航海的斯

堪的那维亚人进行了惊人的长距离跨大西洋航行，依靠他们对风的经验和当时对流的知识往返北美洲。中国唐朝记载曾从海上到达亚丁和幼发拉底河口。佛教高僧曾经海路往返于中国和印度之间。12世纪中，中国已会应用指南针航海，商人利用黑潮海流和季风征服远离海岸的海域，在开阔大洋开辟航线［Song（1990）］。早在麦哲伦著名的环球航行之前，中国的伟大船队已航行到印度洋出使通商。他们的航线（Mao，1621修订）说明他们知道西印度洋海流的季节变化。郑和领导的航行的目的是传播文明。李露晔（Levathe）和勒瓦特（1994）指出明成祖朱棣下令印发10 000册刘向撰写的《列女传》，该书歌颂了中国杰出妇女的事迹，皇帝要以其教化船队航线上的海外之民。

对阿拉伯海上季风的季节变化的知识帮助欧洲人扩大影响到印度及以远。夏天季风从西南吹来，送帆船从非洲海岸到印度。在远古，阿拉伯人和印度人已掌握这个知识，并传给爱好冒险的西欧来的航海家。15世纪葡萄牙人已经发现绕过非洲最南端的航线，然后借助闻名的通往阿拉伯的季风在东非海岸和他们在印度海岸建立的贸易据点果阿之间航行。在航海家亨利亲王和他的继承人的领导下，他们享有杰出航海家美名。葡萄牙航海学校培养各种航海技能。100多年来葡萄牙人对其他欧洲人保守了到印度航线知识的秘密，垄断了运输亚洲货物到欧洲的行业。

但是在16世纪荷兰商人挑战了这个垄断权，他们从曾在葡萄牙船上服役的荷兰水手中学到葡萄牙环非航线的知识。后来，荷兰人靠谍报得到海图，代替葡萄牙人成为印尼香料群岛的主要贸易国。因为葡萄牙人在马达加斯加岛和莫桑比克海岸之间航线旁建筑了牢固的炮台，荷兰人不能走这条航线，因而首次开辟了更东面跨过印度洋的航线。然而这就需要缓慢通过赤道无风带，增加船员生病的危险。1610年利用现在已知经常在南纬35°以南开阔大洋上劲吹的强烈西风开辟了新的更快的航线。这条偏南的航线是荷兰亨利克·布劳厄用东印度公司的两艘船开创的。他从好望角的港口向南航行到南纬35°~40°，咆哮西风带把他带向东。当他估计已到达苏门答腊和爪哇之间巽他海峡的经度时，转向北到达爪哇岛上荷兰人的贸易点万丹。沿这条航线

他花了6个月多一点的时间到达了通常需要航行12个月才能到达的目的港，省了很多时间。1616年，在很多船利用这条航线得益之后，东印度公司领导把这条航线列入了航海指南。

荷兰船舶有效地利用了印度洋的风和流系。由印尼的返程在印度洋转了一个圈，和葡萄牙人一样在北大西洋和南大西洋画了一个“8”字。荷兰船先跟着赤道海流向西，再沿阿古良斯海流向南到好望角。荷兰国家的强盛大大依赖于其商船队远洋航线的优势条件。

“西班牙之湖”

16世纪中，西班牙利用北大西洋的风和海流定居在中美洲。在菲迪南·麦哲伦绕过南美进入太平洋之后，他们扩大影响到菲律宾。60年代和70年代建立殖民地后，马尼拉和墨西哥间建立的非常成功的贸易航线在200多年内使西班牙国库富足。运用北太平洋的盛行风可以在1年内来回。6月底离开马尼拉，这时东北风转向成西南季风，西班牙大帆船装满新奇的亚洲货物向北到北纬40°，盛行西风再把他们带到北美的西海岸，再向东南沿海岸到阿卡普尔科。这条航线的发明权应归安德烈斯·德·乌尔达内塔，他在香料群岛住了10年，搜集了当地海洋知识后提出这条航线。向北绕道到阿卡普尔科的航程需要5~7个月，而在1月利用推着他们前进的贸易风的返程，西班牙大帆船可在3个月内回到马尼拉。这些商业航行的成功主要依靠他们对大洋航线上的风和流系的知识积累。

不久后西班牙往来马尼拉和沿美洲海岸的宝船队吸引来弗兰西斯·德雷克等海盗。这时不管西班牙怎样极力隐秘他们的航线和商机，欧洲竞争的航海国家还是知道了南大洋，并对新发现或重新发现的土地提出主权要求。

几个世纪里从欧洲出发的远航活动的目的是掠夺或是得到荣耀。亚洲的香料、织物、珍宝和细瓷器的贸易获利是很高的，而对基督教水手的奖赏则是使野蛮人和异教徒皈依基督教而颁发给他们终身津贴。

15 世纪和 16 世纪葡萄牙、西班牙、荷兰和英格兰之间的竞争，压制了这些国家的航海家获得的航海信息的传播。本书写的是在后几个世纪里知识在启蒙的精神下积累和传播的故事。由欧洲出发的发现之旅的科学性越来越强，在海上做了越来越多的观测。技术发展了，制造仪器所用的材料也更好了，观测变得更加准确和频繁，其中多次观测是在太平洋里进行的。

18 世纪和 19 世纪对南大洋的伟大的贸易和探险航行需要出版可靠的海洋信息。18 世纪几次探险航行的动力就是欧洲人在不断地寻找传奇的“南方未知大陆”。

南方未知大陆

南半球存在大陆的理论是亚里士多德学派发明的，他们认为为了平衡欧亚陆地，南半球必须有大的陆地。大约公元前 150 年，克劳狄乌斯·托勒密在世界地图上画出了这个大陆，还冠上名字。传说那里有大量财富。南方大陆的理论一直存在，地图作者一直画有这片巨大的假想大陆，而且名为“黄金国”。

16 世纪初巴托罗缪·迪亚士和非迪南·麦哲伦的航线已证明，如果有南方大陆的话，它也不会与非洲或南美洲相连。然而欧洲的海洋国家仍没有放弃在已知大陆之间存在传说中的南方大陆的想法。在 1520 年麦哲伦通过以他命名的海峡之后一段时间，海峡南岸的火地岛曾被认为是南方大陆的一角。16 世纪后半叶的一些地图，例如阿伯拉罕·奥提留斯，把假想的大陆画成由火地岛延伸到新几内亚。

1567 年西班牙人从他们的殖民地派阿尔瓦罗·德·门答那带着两艘船进入大平洋寻找传奇的大南洲。他由卡亚俄向西航行，发现了所罗门群岛，但是并不是南方未知大陆的一部分。1595 年开始的门答那第二次探险也没有成功，但他的葡萄牙出生的大副彼得罗·菲南德兹·德·奎罗斯坚信大南洲必将归入基督教世界。1605 年重新考察太平洋，他到达了几个岛就庆祝发现了大南洲，命名为圣埃斯皮里图，这个群岛后来叫做新赫布里底。

英国人对探险也很感兴趣。1577年弗兰西斯·德雷克由英国普次茅斯带着两艘船出发去骚扰在南美沿岸航行的西班牙人。他从伊丽莎白女王那里得到旨意：首先要寻找南方无主的土地。然而通过麦哲伦海峡后他遇到强劲的西风，不得不转向北。他为英国占领了加利福尼亚海岸，命名为阿尔比恩地，但是没能找到大南洲。

16世纪末，荷兰人在东印度的香料群岛建立了强盛的贸易王国。当他们在这些岛的南方发现陆地时，命名为“新荷兰”，认为可能向南方和东方延伸，这就是传说的大南洲。总督安东尼·范迪门将军致力于扩张和探险。1642年荷兰东印度公司派出艾贝尔·塔斯曼领导的探险队寻找香料群岛以南的富庶疆域，还希望他能发现通往西班牙殖民地智利的南方航线。塔斯曼在咆哮西风带横跨南大洋，发现风暴途经的塔斯马尼亚和新西兰。范迪门总督对这个结果很沮丧，因为探险家们既没有找到蕴藏丰富矿产的陆地，也没有找到能进行贸易的人。

新荷兰的南缘还没有发现，但是平衡地球所需的大陆位置之谜依然存在。17世纪快要结束时，英国海军首领决定组织探险队以继续探寻大南洲。他们任命著名的对印度洋和南大洋有丰富经验的能干的航海家威廉·丹皮尔率领探险队。

畅销书作者威廉·丹皮尔

威廉·丹皮尔在英国海军服役时间很短，20岁时在对荷兰战争中担任水兵，在1698年他47岁时指挥了南大洋探险队。他出版了一系列游记，记载了他12年内航行在世界远方的经历和观测结果，赢得的名声使他荣膺了这个职位。威廉·丹皮尔生于1651年，是萨默塞特郡一位佃农的儿子。他在所谓拉丁文学校中接受教育，本来想从事商业，但是在丧父之后，他说服了他的监护人，在18岁那年当了船主的学徒。他用了一个夏天航行到纽芬兰，用他的话说，他愉快地接受了印度洋和荷属东印度的暖水航行的邀请。在他当皇家水兵时，出于好奇和服从的天性，他借这个机会努力学习了数学和航海。但不久，丹皮尔就病了。

他从病中恢复以后，在牙买加的糖厂谋得助理经理的职位。后来他当了一名普通水手，横渡大西洋，到了西印度。他在加勒比生活了很多年，干过不少工作，包括在西属墨西哥潮湿的沿海森林为英国伐木商砍树。他也曾当过海盗，发挥了他的航海专长。他加入一支英法海盗船队，在巴拿马沿岸劫掠西班牙船队。这个新行当使他从西印度巡航到南美洲沿岸，继续袭击西班牙的商船队。后来他上了名为“小天鹅”号的小船，由墨西哥跨过太平洋开往拉德罗内斯（今马里亚纳）群岛和菲律宾。“小天鹅”号航行于荷属东印度香料群岛，在中国南海打劫一段时间以后，1687 年 12 月他们向南航行到附近的新荷兰海岸。几个世纪以来荷兰人已经知道了这个地区，从 1606 年威廉·延松航行到卡奔塔利亚湾，1616 年德克·哈托格绘出部分西岸的地图。有些荷兰船开赴巴达维亚时在新荷兰西岸失事。这都是在海上没把握抄近路的结果。荷兰船沿亨利克·布劳厄开创的航线去爪哇时沿南纬 40°向东航行，不少向北转弯太晚的船都沉没了，也曾组织过一些援救。所有的报告都说这个区域是不毛之地，人烟稀少，难以到达，没有可供贸易的产品。

1688 年“小天鹅”号的船员在新荷兰的北岸度过了两个月，他们在现在叫做金湾的大湾里面的小湾修船。在那里他们看到了极少的土著居民。丹皮尔花了很多时间写下他对这片新土地陌生的动植物群落以及海状况的观察。他细心和好奇地详细描写了潮、流和风。他还记叙了他认为有价值的他人观察结果。在金湾住留以后，他把他珍贵的日记载在竹箱内，跟着几个同伴告别了“小天鹅”号，漂泊在尼科巴群岛沿岸。从那里他坐着独木舟到了苏门答腊，后来在印尼的明古鲁英属东印度公司的炮台上当了炮长。离开 12 年后，1691 年回到英国，找到一个新职业，当游记作家。

17 世纪在英国兴起研究海外的新风，于 1662 年查理二世在位时颁布了大宪章，成立由科学家组织的伦敦皇家学会，他们可以用本国语言在出版的期刊上讨论和发表新发现（以前都用拉丁文）。大洋航海也是他们关心的领域。他们已出版了《海员远航守则》，要求海员带回远方异域有关海况和锚位的有用信息。皇家学会的很多成员，如

学会的实验总管罗伯特·胡克，对植物和博物学与丹皮尔有同好。

根据丹皮尔的日记，他在1697年出版了献给伦敦皇家学会查理·蒙塔古主席的《新环球旅行》，并成为畅销游记，9个月在伦敦重版三次，声名大噪，获得很大成功。皇家学会会员和英属东印度公司的领导都急于与他会面。他的著作在欧洲大陆和在英国一样闻名，从而掀起一阵探明地球未知部分之风，1701年至1715年间《新环球旅行》的法文、德文和荷兰文版相继出版并受到推崇。1699年他出版了另一部书《旅行和发现》，全书分为三部分，其中第三部分是题为《论热带风、海陆风、风暴、潮和流》的论文。

丹皮尔的论文对于热带大气和海洋的物理现象提供了有价值的实践资料，支持了当时自然哲学家解释风和海流的理论观点。如果你接受哥白尼的太阳系日心说，大气和海水的运动一般都归因于地球的旋转；如果你还抱着亚里士多德的地心说，大气和海水的运动则归因于天体的旋转。自然哲学家常常把潮汐与海流混在一起，可是丹皮尔把潮和流清楚地划分开了。

> "我把海水的涨落叫做潮，流向海岸或离去。而尽管在所有的海岸它与时间或与水位的关系不那么规则，海水的这个特性似乎是普遍的。
>
> 我把海水的另一种运动叫做流，它的持续时间和路程等都与潮不同。
>
> 潮汐从它位于海岸附近看，与海风、地面风有类似之处；它们的确在24小时内来回涨落两次。海风白天吹向海岸，地面风夜间吹向海洋；它们像潮汐一样保持路程。潮汐或海陆风都不会远离陆地。
>
> 海流则可以与沿岸贸易风相比，都与海岸距离相当远；而且海流受贸易风的影响可能很大。" [丹皮尔，马斯菲尔德编 Dampier, ed Masefield (1906) p. 306]

丹皮尔指出他观察得到的潮汐现象有非常实际的用处。

“从我在私掠船的航行中，注意到潮的涨落，因此我总是知道在哪里把船拖到岸上修理。”［丹皮尔，马斯菲尔德编 Dampier, ed Masefield（1906）p. 311］

丹皮尔论述的潮汐现象

丹皮尔的书对海洋学的发展非常重要，显著地补充了18世纪海洋状况的知识宝库。他总结了航海家积累的经验和他本人对自然现象的敏捷观察。

他说他没有走遍世界所有的海岸，但到处都有潮涨潮落，或高或低。他观察到巨大的河口或潟湖一般潮都很强，而在离大陆较远的岛屿或岛屿附近潮就不那么显著了。

“在新荷兰我花了两个月观察潮汐。涨潮方向东偏北，落潮西偏南。涨落约5英寻①。”［丹皮尔，马斯菲尔德编 Dampier, ed Masefield（1906）p. 312］

对付西澳大利亚西北海岸的30英尺潮差，现在需要建非常长的堤坝。当丹皮尔1688年1月到达金湾（今布卢姆），在船修好需要浮起时，他向船公司对潮的性质作出报告，要等待高潮时特别高的水位。

“预计等到变化以后的第三个潮浮起船，但我们的船并没有浮起，下一个潮也没有，使船员都十分惊愕：我们甚至想除了挖走沙子，开辟一条出海的水道以外简直没法把它弄出来了。但是第六个潮扫除了所有的疑问，因为接着的潮汐大到可以浮起船，我们都准备好的时候，把船拖出来，而下一个潮比我们需要的还要高，那里的潮不像英国那样准时。”［丹皮尔，马斯菲尔德编 Dampier, ed Masefield（1906）p. 312］

---

① 英寻为英美制计量水深的单位，1英寻＝1.828米。

丹皮尔根据对这个海区潮的强度和方向的观察得出结论：很可能在新荷兰和新几内亚之间有海峡，至少是既宽又深的海湾。

那时还有新几内亚究竟是不是像某些推测的地图上画的假想的南方未知大陆的一部分的疑问。荷属东印度公司的总督组织了几次探险寻找新几内亚南方向东的出口，但都无功而返。荷兰人确信1606年延松和1643年艾贝尔·塔斯曼探险所做的在新几内亚和“新荷兰”之间没有海峡的结论。虽然东印度公司还不知道，1606年路易斯·瓦耶兹·托雷斯和迭戈·德·普拉多驾着“圣彼得罗”号船事实上已经发现（有人说是“再发现”）了托雷斯海峡，可是西班牙人没有把这个资料画在海图上，也没有公布。那个时候葡萄牙人不仅极力垄断他们对航线的知识，也向西班牙保密他们在用“教皇线”划归西班牙领地的那个半球里发现的土地。

风和流有关吗?

丹皮尔时代，帆船已从欧洲港口开进除南极以外世界上所有的大洋，但航行最频繁的还是大西洋。在那里的航海家发现在热带有个“无风带”，他们的船可能会被困几个星期。而在另一些海区通常有稳定的风把他们很快地送到新的目的地。例如北大西洋的贸易风，冬季在北纬35°~11°之间，夏季在北纬26°~3°之间从东北方向吹过远离大陆的开阔大洋。通常伴随着晴朗的好天气，航海家可以利用它航行。哥伦布1492年第一次新大陆航行非常成功地赶上了东北贸易风，据他记载当时他的船员很焦虑，唯恐在这些海域没有西班牙方向吹来的风。自然哲学家们对贸易风的产生很感兴趣。

英国科学家埃德蒙·哈雷在圣赫勒拿岛的基地研究了南大西洋东南贸易风的方向和强度。他在1676年至1678年，花了一年多时间做了气象和天文观测，提交皇家学会一份重要的关于风的特性的报告，根据大气温度和密度的差对风的路径作出了解释。

丹皮尔没有把他观察到的自然现象理论化。他的贡献是记叙了对包括太平洋在内的热带广阔海域的第一手资料的客观信息。然而他的

确从他的观测中提出了风和赤道流的相关性，它们之间可能有因果关系。他大概是第一个发表这个结论的人：

> “海员们都观察到在贸易风吹到的地方海流都受风的影响，与风沿同一路线运动；但在哪里都没有风那么快；在开阔大洋里海流不像在有些近岸那样容易辨别。”［丹皮尔，马斯菲尔德编 Dampier, ed Masefield（1906）p. 314］

这本书有两幅制图家赫尔曼·莫尔在丹皮尔指导下所画的南北纬40°之间海洋的地图。一幅的中间是非洲大陆，另一幅（图 1.1）覆盖那时所谓的“南大洋”，即太平洋。风的方向用箭头表示，用细线在大洋中标出他们报道的海域。



图 1.1　在帆船时代稳定地吹过热带和亚热带海洋的贸易风对早年的航海家至关重要。在北半球风从东北吹来，南半球风从西南吹来，但在汇集海员的知识之后才逐步搞清楚它的全球分布。威廉·丹皮尔 1699 年在南大洋（太平洋）中的贸易风图部分是他自己的经验，部分是其他 16 和 17 世纪航海家在大洋中获得的知识的成果。他在印度洋所标出的“转向风”指的是季风。

丹皮尔清楚地区别开近岸的日潮流与大海更远处方向比较恒定的表面海流：

“流和潮很多方向不同：潮往复流动，24 小时两次；而流日日、周周，甚至更久，向一个方向流；然后可能转向其他方向。

在某些地方流 6 个月向一个方向，6 个月向其他方向。

在另一些地方流只在满月前后一两天内限定地向一个方向流；然后向反方向流；再回到原方向。

在有些地方流总是向一个方向流，始终不偏转。”[丹皮尔，马斯菲尔德编 Dampier, ed Masefield (1906) p. 314]

丹皮尔在热带岛屿密布的海域度过了比较长的时间，这些海域受季风影响比开阔大洋大，他对一些海流不沿恒定方向而变化产生了更深印象。他没有注意其温度，因为那时还没有后来成为普通航海仪器的温度计用来测量海水温度的变化。

皇家学会一些会员和海军部长读了这篇论文后，对此非常注意。海军部长那时正想发起一次官方的南大洋探险。那时在伦敦出版的总结塔斯曼 1642 年发现范迪门地（塔斯马尼亚）和新西兰的历史性探险的日记，燃起了对南太平洋兴趣的火花。

丹皮尔对新荷兰地区的报告在 1688 年没有引起欧洲政府前去贸易或殖民的欲望。没有把新荷兰当做传奇的南方大陆，那里既没有富足的人民，也没有富庶的森林。在伦敦仍有很大兴趣的是探索传奇的南方大陆的真相，而丹皮尔作为海员和观测科学家的盛誉，使海军不顾他从未在海军供职的事实，仍选他率领探险队去寻找传说中的南方未知大陆。

“雷布克”号寻找南方大陆之旅

我们可在丹皮尔的一本书《新荷兰之旅》中看到这次探险的记载。全书分两部分出版，第一部分在 1703 年出版，第二部分在 1709 年出版。他对“雷布克”号航次的记载是探险年代的饶有兴味的游记。

他最初的计划是按1577年弗兰西斯·德雷克和70年后詹姆斯·库克所做的绕过合恩角进入太平洋。他希望能从火地岛经南太平洋到达新荷兰。实际上因为他出发的季节太晚，1699年1月，丹皮尔知道他不可能绕过合恩角，而是报海军他必须走绕过好望角的航线。他希望由新荷兰向前航行到南大洋。

丹皮尔申请了两艘船，但只批准了一艘，他拒绝了拨给他的第一艘船，而是轻率地接受了第二艘"雷布克"号。根据各方面报道，这条船既老且旧，简单装修后并不适于远航。"雷布克"号有12门炮，载重量为290吨，船上有50名船员，载有2个月的给养。丹皮尔跨过印度洋，又到了不毛地西澳大利亚海岸，这次他在命名为鲨湾的浅水湾内避风。这个湾已有荷兰航海家赴东印度途中到过，1616年德克·哈托格，1696年威廉·德·弗拉明格曾在此避风。丹皮尔想加水，但找了一遍，甚至挖了一口9英尺①深的井都没有找到淡水。他沿着海岸线走了一段，在现名丹皮尔群岛的无水岛屿旁和布卢姆以南的拉格朗日湾抛锚。在南纬18°21′的位置探险队冒险登陆，遇见一些当地人。英国人抓住一个，叫他带领丹皮尔的船员找淡水，但这个人死于英国人的剑伤和土著的枪伤。翌日一组队员登陆掘井，而丹皮尔留在船上，他观察到迅速的潮流，估计潮高约有5英寻（或30英尺）。这个位置离他在1688年曾到过并在论文中写到的新荷兰的地方不远。丹皮尔又注意到由潮的高度、强度和方向看，那里可能有向东通向太平洋的通道或海峡。

在停靠帝汶岛补给水和新鲜食物后，丹皮尔接着向北沿新几内亚的北岸航行，希望能发现新荷兰的东界。他没有验证他的新几内亚以南有通道的设想，他的巨大成就是发现新几内亚东北方的绿色宜人的岛屿，命名为新不列颠。但是这时"雷布克"号的状态已相当恶劣，因此他决定停止继续冒险。他没能看到澳大利亚大陆富庶的东岸，也没有从北方接近它，如果那样他就很有可能越过大堡礁的珊瑚屏障到达澳大利亚了。

① 1英尺=0.3048米。

丹皮尔沿绕过好望角的原路返回英国，他在路上花了两个半月到达巴达维亚（今雅加达）修船，但在南大西洋航行中“雷布克”号因腐烂的木板脱落、裂口而下沉，幸而在阿森松岛的视野之内，没有人员损失。船员登上船上的小艇划到岛上。因为他们在固定航线上，几个星期后，英国的巡逻舰把他们接回英国。

回到英国丹皮尔遇到了麻烦，他受到三次军法审判：第一次有关“雷布克”号失事，他被判无罪；第二次指控被证明不实；第三次军法审判控告他不公正地对待海军军官大副乔治·菲舍。丹皮尔虽然是娴熟的航海家，但却不是成功的领导人。法庭宣告“该船长丹皮尔不是担任皇家海军舰船领导的合格的人”，罚他退还整个航次所得。

丹皮尔在对西班牙的继承国的战争中又谋到私掠船船长的职位。他在以后的7年内沿南美海岸劫掠西班牙的船舶和港口。最成功的是1708年的航行，他没有当船长，而是在私掠船“公爵”号和“夫人”号伍德·罗杰斯船长手下当海员开赴南大洋探险。

虽然丹皮尔著的通俗书籍中不乏冒险、传奇和猎奇，可是他的本意是严肃的，并不想把传奇故事当做现实来写。他对待来自他人的信息抱批判态度。例如对巴拿马地峡下存在地下海通道的故事。

> “圣迈克尔湾的大潮无疑支持了一些人主张的‘在北海（指大西洋）与南海（太平洋）间有地下通道，达连地峡（指巴拿马地峡）像拱桥一样，潮在下面沿固定原路径流过，就像在伦敦桥下一样’的论点。为了证明达个论点，有人说地峡的居民听见了地下来回的流产生连续而奇怪的轰鸣，在巴拿马湾航行的船以飞快的速度被冲走又冲回。
>
> （他们说）有时海水像沸腾一样冲击岛屿，有时在岩石上破碎，有时海水像漩涡一样喷出或吸入，把海水连同帆船经过地下带到北海……但是如果真有此事的话，那就是我和我周围的人都从来没有见过或听到过这样重要的事实。”

如果在那个年代其他海员有丹皮尔那样多的气象和地理知识，他

们也没有丹皮尔的文笔和愿望写出自己的经历和观测结果。他对17世纪末、18世纪初成熟起来的地理和航海知识做出了重大的贡献。

丹皮尔1715年逝世之后，他的著作仍有广大的读者群。1729年詹姆斯和约翰·奈普顿把他的著作搜集出版，以引起人们探险太平洋的兴趣。他著的书为丹尼尔·笛福（《鲁滨孙漂流记》作者）等文学家、詹姆斯·库克等探险家和查理·达尔文等科学家所珍视。在他的航线上航行的人都遵循着他的航海指南。

发明时钟以前的航海

对威廉·丹皮尔一代的早期航海家来说，航海充满了不定数。一旦离开熟悉的沿岸海域，精确定位是非常困难的。孤悬大洋已发现的岛屿有时再也找不到了，因为它的位置不准确，最好也不过是估计的。现在用在空间运行的卫星上的导航设备定位，确定地球上任何一点的精确度都大大超出早年航海家的想象。

船的航线可以用磁罗盘确定，因为有“磁变”，可能有很大的误差。自由悬挂的罗盘针不能准确地指向正北或正南。15世纪和16世纪的大洋航行观测中记录了罗盘的指示，似乎随地而异。丹皮尔在《新荷兰游记》中列出了他在往返旅程中在南半球100个站位观测到的罗盘偏转。

> “使我震惊的是，我发现磁变并不总是随着东经或西经的度数成正比地增减，我注意到它可能与距离某些子午圈以东或以西的度数成比例。”

他观测到的磁变的不规则性对他是个谜，在他那个时代早就希望能利用磁变线定位了。希望用这些线加上由观测证明与纬度关系很大的磁针偏转得到的坐标，能用来构成全球的网络以确定船位。在17世纪90年代后期英国海军部启用埃德蒙·哈雷测量并绘出北、南大西洋的磁变。1700年丹皮尔绘出了“等磁变线”图，希望他的资料

对哈雷的研究有益。那时靠罗盘变化进行航海的希望破灭了，因为发现等磁变线并不是恒定不变的。罗盘的变化和偏转逐年变化。丹皮尔的资料突出表明了在天文钟应用以前确定准确经度的巨大困难，在他的罗盘变化表中列出了他根据位于邻近的新确定的子午圈（如巴西的萨尔瓦多角、好望角、德克哈托格岛、圣赫勒拿岛的子午圈）以东或以西确定的经度。

纬度是由测量正午太阳与地平线间的角度确定的。星盘、象限仪、交会标尺等简单仪器让位于背标尺，用这种仪器时海员背对太阳，测量太阳投射的影子与地平线的夹角。15世纪末已画出计算纬度的天文表并广泛使用。

要确定船的经度，或与已知子午圈的距离，需要估算向东或向西经过的距离，这是不容易的。我们已经说过，这就是布劳厄开辟的荷属东印度的航线的大缺点，难以确定在印度洋上盛行咆哮西风带中向东航行多远再向北转向巽他海峡。计算航行距离的错误使很多荷兰船在新荷兰西岸沉没。

要计算船速的方法是用一块板，其重量使之能向上几乎稳定地浮在水中，用长绳系住，隔等距离打结为记。把这根计程绳抛到舷外，当船走远时，水手数在测量的时间间隔里经过使手中的节数。有规律地记录这样算出的船速，结合所走航线，至少在理论上可以计算出所在点的经度。当然可能产生误差的原因很多，包括变化莫测的侧向的风和流。几个世纪来测量时间的船载仪器是沙漏，能计小时、分或其分度。让我们看看丹皮尔所写的1699年赴新荷兰旅途中靠近好望角时的记叙就可以知道沙漏的不便了。

“因为我很快就发现那时最远离好望角25里格或30里格（旧长度名，约等于3海里）。错误或者来自海图上把好望角画在巴西的东面过远了，或者来自我们的推算航行，我说不清来自操舵、计程、测流、半分钟沙漏的误差，加上有时粗心产生的误差，在那么远的旅程中累计起来常常有很多里格。我的很多水手记日记时把它归入半分钟沙漏的误差。

因此船上应有非常准确的沙漏误差，此外应特别谨慎地收放记程仪，以使在中等的风的情况不会产生太大的偏差。”［丹皮尔，威廉孙编 Dampier, ed Williamson （1939） p. 68］

在漫长的航行中准确地确定经度的问题还有待解决。过了3/4世纪才找到准确的方法。那个时候西欧的天文学家努力改进导航方法，认识到它对海洋国家的商业野心至关重要。1672年在科学院领导下建立了巴黎天文台，意大利天文学家G. D. 卡西尼运用伽利略提出的理论，计算出预报木星的卫星蚀的表用来在海上确定经度。法国海军广泛采用了这些表。在伦敦皇家学会的科学界也在做同样的事，支持弗兰斯梯德天文台的天文学家改进天文表。画出行星的轨迹，计算行星被月所蚀的时间，得出规定的时间和地点月与日之间的距离，这种月象表首次发表于1767年航海年鉴中。

同一年代也在做改进计时器的工作，生产可靠、便携的航海钟。

天文表的改进使18世纪晚期库克的首个航次和拉彼鲁兹的航次确定经度的准确度小于1°。年鉴所载的星蚀和掩星的预报和月日之间距离的月象表都可用来天文“定位”。应用这种方法需要在摇摆的甲板上艰难地测量角度，然后做几个小时的繁琐计算。1730年由约翰·哈得莱发明的反射六分仪提高了准确度，并立即得到了英国海军的采用。

詹姆斯·库克和1768—1771年“努力”号的航次

詹姆斯·库克的三个航次以其在探险、制图和科学三方面的成就而闻名，标志着环球航行的科学新世纪的滥觞。因为詹姆斯·库克1768—1771年在“努力”号上的航次绘出新荷兰东岸的地图，由此带来18年后欧洲人建立殖民地，所以对澳大利亚历史很重要。

这个航次以在塔希提岛观测金星凌日而闻名。那时对测量地球和太阳系的大小很感兴趣。已知行星、金星运行时在可计算出的时间间隔内掠过太阳表面，多年以前埃德蒙·哈雷就已提出在世界各地观测

这个现象后可以用三角原理计算由地球至太阳的距离。1761 年法国、英国、意大利、德国和其他国家的观测者为此组织了一次大规模的国际合作观测，结果并没有得出结论。因为下一次金星凌日是在 1769 年，詹姆斯·库克选择在南太平洋的塔希提岛观测。这使他的航次带上明确的科学目的，标志着西欧海上强国组织的探险性质的彻底转变。

"努力"号载着约瑟夫·班克斯的科学家队伍，其中天文学家查理·格林的任务是应用 1767 年在马斯克林的航海年鉴中提供的改进了的天文表。船上还带了设尔顿摆钟，因为甲板的运动，摆钟不适于在船上使用，但是可以装在陆地上（见图 1.2）。



图 1.2　装有设尔顿摆钟的库克移动观测站。需要陆基的天文观测站作为船上观测的补充（R. 伯纳德刻版）。

东澳大利亚海流的第一次观测

18 世纪后半叶"努力"号航次已积累了关于洋流的大量知识。北大西洋湾流已是众所周知的，它的首端连接向西流的北赤道流，西班牙征服者利用它作为去加勒比海的有利航线。在库克"努力"号航次的时代已可以估计船舶遇到的海流的速度和方向，这是很有用的资

料，因为两节稳定速度的海流能使船每天多走或少走40海里。船位可以靠天文定位点用推算来计算。推算法需要利用计程仪得到的船在海中的速度。计程仪由船的船舷放出，其结果用来估计24小时内航行的距离。由以前和现在的天文定位点作比较可以计算出距离，偏差是海流“推动船”产生的，天文学家格林在“努力”号上做提供可靠站位的计算。作者现在还在用这种测量海流的方法，只不过用电子计程仪代替了库克所用的打结绳罢了。西南太平洋海洋动力学的重要发现是沿东南澳大利亚海岸南流的海流。1770年库克沿这个海岸（图1.3）航行时，他主要被这股海流推动，证实了它的存在，后来的航海家也注意到了。这个沿岸流的性质很复杂，还有待研究。

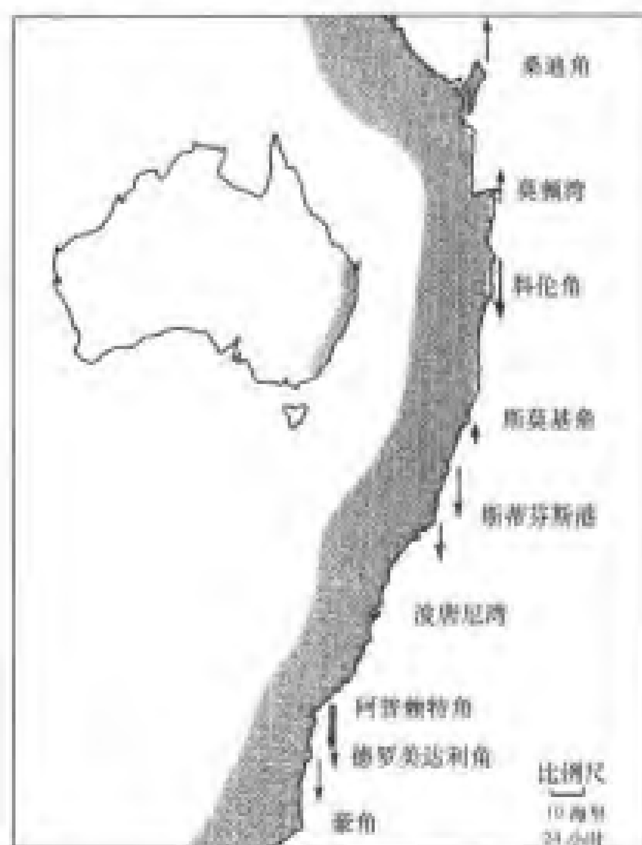


图1.3　詹姆斯·库克1770年靠近了新南威尔士海岸，记录下他当日航行终点的位置与按船在海中航速推算位置之差。P.J.豪尔赫恩博士画出观测到的向南流的东澳大利亚海流。我们200年后知道，布鲁斯·哈蒙发现这个海流在外海较强，而有时还有一条向北流的近岸海流。这从库克在北方的观测中也可看出。

潮汐观测

船舶通过海峡、进港都需要潮汐资料，需要编进《海员守则》。科学家也对潮汐现象感兴趣。那个时代艾萨克·牛顿已对潮汐的成因作出解释。通常只需抛锚若干时间航海家就可以取得潮汐资料。“努力”号在大潮时触到了昆士兰外面的珊瑚礁，库克有了这个机会。他不得不焦急地测量涨落潮，等待船舶浮起。当下一次高潮船还不能浮起时，他观察到可能有显著的潮高日不等现象，这是他从前没有注意到的。

1772—1775 年“决心”号和“探险”号航次所做的船钟试验

在库克的第一航次这段时间内，约翰·哈里孙的研制航海计时器工作最终获得成功，做出了可靠的船钟。确定船位的准确度提高不但对地理发现很重要，而且对记录海洋特性也很重要。准确的船钟需要指示格林尼治（或巴黎）本初子午圈时间，那么经度就可以从与当地太阳升起时相比较而得到。人在以格林尼治时间为标准向东走时，似乎总感觉到太阳升起得越来越早。18 世纪科学的成就是生产出这种仪器，法国人 1769—1775 年在航行中试验，库克在“决心”号和“发现”号上 1772—1775 年做出了试验。试验的成功使历史学家宣称“战胜时间”是 17～18 世纪的最大成就。钟的发明宣布了所谓“古代文明”的终结。

1714 年英国国会条令规定给能在海上测出经度，并且准确度在半度以内，或者说在到东印度的航程中误差不大于 30 海里的仪器发明者，国会赏给 2000 英镑的巨额奖金，可见当时发明准确计时器的重要了。不过那么高的奖金也没有立时解决问题。在经度委员会的仲裁下，奖金最终颁给了发明弹簧驱动仪器的钟表匠约翰·哈里森。他 1765 年制造的第四型弹簧驱动仪器，得到了一部分奖金，另一部分 1772 年才发给他。约翰·肯达尔复制了这个发明，价值只有 450 英

镑，于1772年拿到“决心”号上做试验。(过了几年厄恩肖改进的时钟以1/10的价钱就生产出来了。）同时在欧洲大陆，法国精密机械所儒连·勒卢瓦发明了航海钟，1767年法国科学院颁给他奖金。瑞士钟表匠菲迪南·伯突德做出另一种航海计时器，于1768年开始试验。为此法国皇帝和海军给了他3 000英镑的年金并授予“钟表机械师”称号。此举承认了此项使航海成为精密的科学，并为真正的海洋科学考察铺平道路的发明的价值。

为试验哈里森的钟，英国经度委员会派了两位英国杰出的天文学家威廉·威尔斯和威廉·贝里到“决心”号和“探险”号上去。威尔斯曾参与编辑库克首个航次用的航海年鉴。经度委员会每年付给他们400英镑。宝贵的“经度表”装在特制的盒子里，上了三重锁以“安全保护和正确管理”。钥匙由两船的船长、副船长和天文学家保管。给威尔斯的指令是要他试验钟的性能（约翰·肯达尔和约翰·阿诺德根据哈里森的原理制造）。

> “你应每天午后方便时上表，互相比较，并记下有关的时间，你还应注意太阳在上下午时的高度和钟的时间，或者观测月亮离太阳和固定星体的距离；应从钟的指示与太阳上下午高度推出的现在时间比较算出经度，你应比较该钟指示与另一舰上贝里先生操作的另一台钟指示，注意该钟所指示的对应时间。”[Beaglehole (1969) Vol2, p. 725]

考察队带了1772年、1773年、1774年的12本航海年鉴，在1775年版中规定：

> “如天气允许，你应每天观测太阳的子午圈高度以求出纬度，以及太阳在上下午时正午距离情况下的高度，与用钟测量的时间和在船台用方位罗盘测的太阳方位算出的视在时间，在中午阴天时测出的纬度。你还应用哈德雷六分仪观测月亮离太阳及其他固定星体的距离，你可根据航海年鉴计算经度。”

要求天文学家在活动的台站观测。选用贝里设计的模型，天文学家随处都可搭设岸站以校正仪器，在一次刚过三年的航次后，肯达尔-哈里森计时器在到达朴次茅斯时的误差小于经度17′。天文学家的导航观测值为英国经度委员会所承认，1777年出版了其天文观测。

探测海深

在“决心”号和“探险”号上的实验还增进了对开阔大洋水下的知识，扩大了在地中海封闭海域里开始的实验。18世纪之交意大利公爵路易吉-菲迪南多·马西格利做了一些实验，比较了里昂湾下层与表面的温度和盐度。他的结论写在他的第一本整个研讨区域性海洋科学的著作——《海洋的物理学》（1725）中，我们后面还要介绍他的发现。

同一年代在英国特丁顿教区里聪明的史蒂芬·黑尔斯不仅发明了近海测深机器，而且还成功地研制出了采深海海水测量温度的工具。它由有盖的瓶子和装在里面的华氏温度计组成，瓶子顶底配有阀，能在深层采样带回海面。1751年代表黑尔斯的“伯爵”号船长亨利·埃利斯在非洲海岸外北纬25°的热带水域放下瓶子测量了温度。埃利斯报道温度随深度急剧降低。海面水温84°F（29℃），5 346英尺（1 630米）深处只有53°F（11.6℃），降低了31°F。他还用比重计做了实验，发现海水盐度随深度而升高。

这些实验纯粹是由科学的好奇心驱使的，对航海没有一点实用价值。但是当做强调科学实验以外的可能用途，埃利斯船长兴高采烈地说，从深处提上来的冷水可以供在炎热的热带洗澡用，也可以冰冻酒或水［Deacon（1971）p. 183］。

在欧洲兴起的新的探索精神指导下，库克在1772—1776年“决心”号和“探险”号航次中有下面这句话就不足为奇了：

“在深处……测量海的盐度和温度。”航次早期威尔斯和贝里在大西洋和南大洋约600英尺（100英寻）深度做了9次这种实验。“决心”号上的自然博物学家约翰·莱因霍尔德·福斯特也参加了实验。

华氏温度计封在有阀的护套内，从船侧放下，放置15~30分钟，使温度计测出周围温度。福斯特提出的首次实验的回收时间过长，为27分钟，为威尔斯所反对。后来的实验时间缩短至六七分钟以减少温度计提至海面过程中的热传导。虽然测量的点和深度很有限，可是却覆盖了相当宽的纬度范围。从接近赤道到热带、一直到开普敦的纬度和南纬高纬度。埃利斯船长在热带或温热带测得的数据显示温度随深度降低，但在冰冻的南大洋却意外地发现在冷而微淡的海水下温度稍有升高。不久这个现象在北冰洋的科学考察中也观测到了。冬天海水结冰时排出盐，冰是不咸的。当夏季冰融化时，淡水形成较轻、较淡的水浮在较咸的海水上。海水密度与温度和盐度都有关系，冷而淡的水会浮在暖而咸的海水之上，使得温度随深度略有升高成为高纬度海区的特点。

库克在赤道附近的温度探测，发现温度随深度剧烈变化。直到不久前科学家还在推测赤道这层这么接近海面、冷于上覆大气的冷水的来源。下一次报道在赤道海域的水下测量是19世纪初包丹到南方大陆的考察。时代前进了，测量也成倍地增多，“可能有深的极地水流向赤道”的理论得到支持，但还有待证实。

好斗的“家伙”

远航大洋的帆船上拥挤的舱室和恶劣的环境使船员容易产生暴力和纷争。在“决心”号上天文学家威尔斯与首席博物学家福斯特的关系恶化到最低点。威尔斯拒绝福斯特接近他需要记录的科学数据，声明数据是经度委员会专有的。回国后两人打起了尖锐的笔仗。

这位博学多才而又吹毛求疵的德国哲学家在英国科学考察船上的确出了一些问题。福斯特（图1.4）在筹备考察的最后1个星期，就在约瑟夫·班克斯驳回他参加探险的申请之后获准加入，他的确是个麻烦的人。在商量他加人考察的最后1分钟，乔治三世皇帝恩准资助他，这位博物学家认为这是皇家的恩典，使他可以不受考察领导的管辖。他没有得到书面任命，在3年的航次中得到4 000英镑的报酬，

他用了其中一部分买装备。这笔报酬是十分优厚的。值得注意的是，升到船长职位的詹姆斯·库克按海军待遇才拿到每天六先令（每年110英镑）的报酬。



图1.4 约翰·莱因霍尔德·福斯特，1772—1775年与詹姆斯·库克一同参加"决心"号和"探险"号探险的博物学家。

按比格尔霍尔的叙述，福斯特的多疑和武断的脾气不为库克或其他天文学家所容。大概他的外国口音也没有帮他处好关系，但是英国船上其他有外国血统的人也没有惹起那么多反感。福斯特认为他成了"仇恨的目标"。他在日记里透露："他们卑鄙地从实验室和工具等各方面妨碍我研究博物学"。德国博物学家与英国天文学家之间的争论大部分是关于科学工作方面，特别是深海的温度测量结果的"所有权"或应该谁做实验。在欧洲大陆，水下测量都归功于两位福斯特，因为小福斯特出版的航次总结中提到了测量结果，但没有特别指出是谁做的。威尔斯声称实验完全是他做的，而且与乔治·福斯特辩论，

质疑老福斯特的研究能力。20 世纪何尔［Hoare（1980）］编的老福斯特日记证明他确实参与了工作，还用他自己发明的工具做了一些测量。琼斯和琼斯［Jones and Jones（1989A）］回顾了这些早期的水下温度数据。

在航次总结时他们又争论考察官方总结和成果的著作权。总结这个发现之旅是很有意义的。作为首席博物学家的福斯特希望回来后写这个航次的报告，但是海军把著作权给了库克，要求他的著作应该包括博物学，特别要编入福斯特的报告。福斯特那时坚决反对那些参加考察的人，拒绝服从那些轻蔑地“把我的成绩当做学童作业”的人。他恐怕“谬种流传”，用他的名义在被编辑篡改后发表了他的手稿的某些章节［Hoare（1976）］。

福斯特拒绝妥协。他的儿子根据父亲的游记，1777 年首先用英文，然后用德文出版，获得大量读者，特别是在欧洲大陆。亚历山大·冯·洪堡从中获得灵感。老福斯特不得不写下他的科学和哲学观测，并自费出版，就是《物理地理学、博物学和伦理哲学环球考察的观测结果》（1778）一书，但获利很少。这本深刻的、充满系统知识的书反驳了威廉·威尔斯对他没有研究能力的污蔑。书中有关于海洋科学的章节——论海域和大洋，研究了海水盐度、温度和海冰的形成。后者是至今还在探讨的课题。通常认为海冰可能是从河口淡水产生的。但从他的南极航行观测和物理学家爱德华·奎恩的实验中，福斯特正确地指出冰的确能从海水中产生。

库克坐着“决心”号又到了新西兰和南太平洋，但没有再到澳大利亚。关于范迪门地与大陆不连接的猜想是 1770 年库克画出希克斯角以北的海岸时提出的，然而却是他在“探险”号上的同事弗尔诺证实的。他认为“在新荷兰和范迪门地之间没有海峡，只有很深的湾”，而观察到从西方来的强流和涌使他推翻了天文学家威廉·贝里 1773 年 3 月 17 日日记里的相反意见：“很可能这是分隔新荷兰与范迪门地之间的海峡的口子。”［Beaglehole（1969）］

巴斯海峡的存在直到 1798—1799 年马修·弗林德斯和乔治·巴斯的“诺福克”号航次才证实。然而另一位航海家勃鲁尼·当特尔卡

斯托在 1793 年环绕新荷兰的南岸观察海洋特性时提出有个海峡的看法，我们下面还要谈到他。

测量海表面温度

英国海军对库克的“决心”号和“发现”号第三航次时（1776—1780 年）提出了海洋学实验要求——提供大量研究大洋表面水体的数据。给船员的任务是要经常记录海表面温度。更早的这种系统测量是 1775 年亚历山大·达尔林普尔东印度之行，每天若干次。本贾明·富兰克林 1775 年与 1776 年在英美之间航行时也做了海表面温度测量。他们发现这种温度观测可确定海流（如北大西洋的暖流湾流）的边界，有助于导航。在“决心”号和“发现”号上记录海面温度只记录到了开普敦，不知道为什么以后没有继续下去。

欧洲人首次注意到黑潮的主要分支是 1779 年库克的太平洋探险第三航次，“发现”号詹姆斯·金和“决心”号船约翰·戈尔船长在从勘察加以南沿日本东海岸推算航行时记录到了它的影响。虽然库克这年年初横死于夏威夷群岛，但考察还是继续进行，向白令海探险以寻找向北通向大西洋的通道。

1788 年英国在杰克孙港建立了殖民地

1788 年英国政府（现在认为）出于战略目的，也是权宜之计，在寻找了很久的南方未知大陆的东岸建立了关押囚犯的殖民地。第一航次 J. 怀特（1790 年）系统地逐日测了气温，但没有花时间收集海面温度。怎么说这个航次都不是科学考察。它主要的目的是运送 750 名左右囚犯，由 200 名水兵看守，还运送了供建立遥远的殖民地所用的装备。这个殖民地太远，而且建在这样一个生疏的环境里，在最初几年简直是勉强支撑下来的。它在南太平洋的存在使大部分 19 世纪的越洋科学考察接近澳大利亚的机会更多了。

1789—1794 年马拉斯皮纳未公布的科学考察

1789 年西班牙卡洛斯四世皇室资助了一次综合的太平洋考察。这个航次的目的不仅是寻求商机或殖民地的地理发现，南方未知大陆的发现也完成了。为这次科学考察，在加的斯特地制造了两艘 350 吨的快速战舰。任务是既做南美洲沿岸的详细的水文调查，又收集这些西班牙殖民地的状况。两艘船都专门配备了人员与设备，收集博物学和物理学感兴趣的海流的科学数据，以满足新的测量和记录热潮的需要（见图 1.5）。

这时的科学能带来国家声望，公众注意詹姆斯・库克的科学考察标志了欧洲人的新姿态。法国因在拉彼鲁兹公爵的环球航行中有博物学家和艺术家参加而在自然科学中领先。西班牙皇室注意科学的价值比较迟，卡洛斯三世建了马德里植物园，他支持了发展世俗教育的组织和平教友会，在波哥大建立研究南美洲大陆植物界的研究所。

1789 年 7 月自加的斯起锚的考察装备了最新的在海上测量和记录天文及气象状况的仪器。最重要的是购自伦敦的阿诺德钟，能使西班牙人比以前只用天文观测确定的位置更准确。

这个航次是由队长亚历山德罗・马拉斯皮纳（图 1.6）率领的，他是位 35 岁意大利出生的西班牙海军职业军官，1784 年曾指挥西班牙快速战舰“阿斯特里亚”号环绕世界。马拉斯皮纳是受包括前世纪科学家和哲学家伽利略和牛顿著作的开阔智力的教育培养出来的，他致力于研究西班牙殖民地的政治经济状况，在船上带了托马斯・杰弗逊和亚当・斯密的著作。

在前个世纪牛顿解释了月球和行星运行所受的万有引力，导出这些不可见的力的公式。地球的重力可以由悬摆观察到。因此那时对地球重力场的研究成为重要课题以形成地球形状的理论。这是马拉斯皮纳的重要课题。如果地球不是理想的球，而是像猜想的那样在两极被压扁的话，在地球表面不同点反映出来的重力应该是不同的。地球半径减小时重力微微增大，钟摆的周期（一个来回的时间）随着重力值



图 1.5　1789—1794 年西班牙舰“发现”号和“无畏”号载马拉斯皮纳考察南大洋。

而增大。他们计划用钟摆在分布尽可能广的岸站做实验。

这次考察带了英国和法国政府的科学护照或介绍信，两国著名学术组织都拿出一些科学仪器，经济目的是调查西班牙太平洋领地的状况，以及调查最佳航线和港口。快速战舰“发现”号和“无畏”号于 1789 年 7 月出航。两舰载着博物学家、画家和雕刻家，以及 86 名水手和 16 名官员，计划以英国詹姆斯·库克和法国拉彼鲁兹的科学



图1.6　马拉斯皮纳，1789—1794年西班牙人雄心勃勃地远征太平洋科学考察的领导，回到西班牙后被关了7年，他的航海日记直到1885年才发表。

考察为蓝本。

西班牙人先在蒙得维的亚靠岸，调查了拉普拉塔河口，麦哲伦曾经在那儿寻找穿过南美洲的通道。然后他们绕过合恩角，慢慢向北调查了太平洋沿岸，直到墨西哥，他们又接到新的调查穿过北美洲进入大西洋海路的圣旨。一位地图作者在给法国科学院的信中坚称1588年即已有人通过这条通道，可能性是否属实是值得调查的。这道圣旨把他们向北带到阿拉斯加，可是没有找到通道，马拉斯皮纳告诫那位地图作者别太相信理论了，地图应等批准后再出版。

然后，在菲律宾停留，测出这个广阔的群岛的详图后，考察队向

南航行到新西兰南岛的西岸。库克在第二航次已去过两次，在他称为德斯基湾的入口待了几个星期。峡湾深深地切割了这个地区的海岸。马拉斯皮纳的主要目的是重力测量，但他也研究并测绘了附近的峡湾道特富尔湾。那时在新西兰还没有欧洲人的殖民地，但是马拉斯皮纳对锚地周围的描述并不支持建立殖民地。

接着这两艘舰驶过塔斯曼海于1793年3月到达悉尼的英国囚犯殖民地，这个英国政权的前哨那时只有5年历史。这些西班牙人在杰克孙港待了1个月，并在本尼朗角前滨的港口建立了观象台做天文观测以及钟摆实验，这是在英国殖民地做的第一次科学考察，博物学家和画家忙于描绘这一古老大陆独特的动植物界新发现，马拉斯皮纳称赞其是殖民地的成功。

4月西班牙人重新跨过塔斯曼海在回到卡亚俄和西班牙在南美的领地时环绕了新西兰北岛，他们又绕过合恩角，1794年9月回到加的斯。

这样一次精心组织的、广泛的考察为西班牙的王冠增加了光辉，但是它对当时的科学影响很小。马拉斯皮纳和一位西班牙修道士合作，计划要出版地图、航海日记和图集。1794年他回来不久，他和修道士都被捕了，马拉斯皮纳被判在小岛要塞禁闭10年。

约翰·肯德里克（1999）把这个严厉的惩罚归咎于“对马拉斯皮纳的误导与徒劳地鼓吹在西班牙和其王国建立新型政权一举的反应”。当时已有要求在西属南美更多的自治和更自由的贸易的骚乱，马氏正确地看出这是起义的前奏，他在漫长的航行中写下美洲的政治论，准备收入航行总结中。当考察在太平洋进行时，自由平等的思想使法国帝制被推翻。西班牙首相认为马拉斯皮纳的思想富于煽动性，危及君主制度。

在马拉斯皮纳的游记节本在西班牙出版前16年，1810年菲南德斯·德·纳瓦莱特出版了马氏航次水文工作的摘要，但是没有提供几乎在他所在的岸站都做过的钟摆实验，而在当时这正是困惑于地球椭圆度的地理学家相当感兴趣的。

收集的植物充实了马德里博物馆的植物园，但图集和说明却被西

班牙政府扣押，论述遭禁。当时（1801 年）法国经度委员会的弗洛留公爵希望监禁马拉斯皮纳不过是一起短命的冤案（事实上在拿破仑的命令下，他关了 7 年后被释放）。弗洛留痛惜考察结果不能出版，怀疑西班牙是否仍然褊狭地向欧洲保守对航海和人身安全至关重要的资料的秘密。

在同期的法国或英国科学著作中找不到参考马拉斯皮纳考察所做的海洋、重力或气象观测的内容，一本出自西班牙官员弗兰西斯科·哈维尔·德·维亚纳之手的笔记出现在 1849 年，最后在 1885 年，差不多在考察结束后的 100 年，马拉斯皮纳的总结才由诺伏·伊·科尔孙编辑，在马德里出版。

考察的发现没有发表，我们看不到这次雄心勃勃的西班牙探险对当代科学思想的影响。科学考察航行的不可缺少的表现是观测成果的出版，后一个世纪法国政府出版了他们的调查研究航行的卷帙浩繁、图文并茂的报告。1840 年迪蒙·迪维尔由大洋洲和南极洲航行归来时出版了洋洋大观的 14 卷文集和 5 部图集——海员和科学家工作的结晶，为国家和个人在科学发现上赢得了声望。

第二章　追踪拉彼鲁兹

特别是在我们过了南回归角以后，每进入港口或在海湾登陆时，第一要务就是检查大海抛出的废物。如果法国航海家拉彼鲁兹的确在新喀里多尼亚附近某地失事的话，他的船队的残骸就可能被贸易风吹到岸上，可以指出致命的礁石或岛屿的位置。

马修·弗林德斯（1814），1802年调查澳大利亚的昆士兰海岸。

如果说马拉斯皮纳探险队克服环球考察的艰险生还回到无情的祖国，那么紧接着拉彼鲁兹领导的伟大法国科学探险队却有去无回，使支持者很伤心。

当时对弗朗索瓦·德·加劳·德·拉彼鲁兹指挥的1785年8月从布列斯特起航的有双重意义的法国探险队曾寄予厚望。它代表了国家对宿敌英国在科学和地理学上的成就的反应。库克航海记在很短时间内译成了法文，很多人都看了，1774年登上王位的路易十六也是一个热心的书迷。法国派了5支探险队进入南半球，但都没有得到詹姆斯·库克那么多的发现。最后的一次是贵族出身的伊夫·约瑟夫·德·凯尔盖朗因提出虚假领土要求上了法庭，在监狱里呆了4年。法国需要有新的地理学和科学发现来提高威信。港口和军工总监弗洛留公爵查理·皮埃尔·克拉莱支持科学探险的主意，亲自批准探险队的日程，以及随后包丹领导的1801年探险队。计划其路线比库克的第二航次在北太平洋覆盖得还要广，特别注意北美、西伯利亚和日本的海岸。

1785年中，"罗盘"号和"星盘"号两艘船，载重量都是500吨，装有最好的装备和最新的科学仪器，由有经验的军官拉彼鲁兹公爵指挥。他从出身高贵的朋友中挑选了很多军官。路易十六对探险的计划工作很感兴趣（图2.1），他给出自文明之邦的探险队队长下了下列谕旨：

"无论在什么情况下，拉彼鲁兹爵士都应对此次探险途中可能遇到的各种民族有礼、仁慈……如这次探险无一人伤亡，将予以嘉奖。"

科学院和医学学会对科学考察做了指示，而且其中有不少志愿者参加了这次光荣的4年探险。探险队带了一支很强的科学小分队，有6名科学家和3名绘图专家，连随军牧师也精于科研工作。



图2.1 路易十六给拉彼鲁兹的法国伟大的18世纪科学考察探险队下谕旨，海军部长卡斯特尔元帅站在皇帝后面。据说1793年1月皇帝被处决前还问过："有拉彼鲁兹爵士的消息吗？"

当时要求在各纬度记录按规定测量的海面温度、罗盘偏角（变化）、气压计的高度。并派遣军官赴伦敦购买巴黎还没有的精密仪器。

当购买测量磁场强度变化所需的高质量磁针遇到困难时，英国皇家学会会长约瑟夫·班克斯安排英国经度委员会赠送两枚曾用于詹姆斯·库克第三航次的偏转磁针。在这个航次中所做的科学工作成为那时法国筹备的航次的典范。

在拉彼鲁兹航次的同时，博物学家、物理学家、地质学家和气象学家罗伯·保尔·德·拉马农考察了在一日内规则变化的海上气压。他还发现地球热带磁场强度比两极弱。他是从偏转磁针的振动周期做出这个结论的。后来的法国考察中也做了这个实验。

当拉彼鲁兹在北太平洋探险时，弗洛留又下了侦察英国在新荷兰植物学湾的意图的命令。拉彼鲁兹在 1788 年 1 月 26 日驶进这个湾，正好第一舰队准备转移到杰克孙港更好的位置。法国自然学家、牧师雷塞佛神父在停靠时逝世，葬在现在悉尼郊外拉彼鲁兹。牧师死于在萨摩亚群岛所受的伤，探险队在岛上被当地人袭击，损失了 10 名水兵和“星盘”号的船长。在他结束探险 6 个星期前，拉彼鲁兹把信和报告留给菲利普总督，由最早的船带回法国。而“罗盘”号和“星盘”号没能回国。

两艘船神秘地失踪了，杳无踪影。然而 1 年以后人们仍然希望最后报道 1788 年 3 月在植物学湾的海军官兵大概还活在某个热带岛屿上。巴黎博物学会最关心跟着拉彼鲁兹出海的科学家们的命运。在他们的提议下，法国立宪会议 1791 年拨了 60 万法郎在安托万－雷蒙－约瑟夫·德·勃鲁尼·当特尔卡斯托的指挥下组建寻找两艘考察船的航次，在出航时当特尔卡斯托已升任海军少将。又拨了 10 万里弗（法国古币名）供顺路进行的科研工作之用。当时的海军部长德·弗洛留公爵非常赞成把寻找两艘考察船的任务与科研调查结合的主意，他对科学和航海都感兴趣，他曾做过研发航钟以在大西洋试验勒鲁瓦的计时器的工作。

当特尔卡斯托的探险队装备很好，适于做科研工作，但是因革命和战争中断了探险，两艘武装了的载重量各 500 吨的科考船“研究”号和“希望”号，于 1791 年 9 月从布列斯特出发，船上配备船员 222 人，其中有 5 位博物学家和 1 位园艺专家，1 位博物学家兼任“研

究”号的牧师。“希望”号上的天文学家也担任牧师，军医和助理军医也能做科研工作，于翁·德·克马德克指挥“希望”号，首席水文学家是 C. F. 博唐－博普莱，他后来成为著名的培养水文工程师学校的创建者。这真是一次有巨大潜力的雄心勃勃的探险。海军部长建议的航线可能找到“罗盘”号和“星盘”号的下落。

经过好望角驶入南半球后，法国人于 1792 年 4 月抵达范迪门地（塔斯马尼亚）。他们寻找探险湾，那是库克第二航次的弗尔诺船长在被冲进一条以前没有标出的隐蔽的深水水域人口（当特尔卡斯托海峡）时发现的。他们在那个宜人的环境里过了 1 个月，然后向北驶进塔斯曼海和珊瑚海，到了拉彼鲁兹预定在植物学湾以后要去的新喀里多尼亚、所罗门和圣克鲁斯群岛，可是没有得到他们同胞的消息，听说有人看见阿德默勒尔蒂群岛的土著人穿着法国军装，接着他们就去了，但是发现这个消息是假的。

为了扑灭在船上流行的坏血病，两艘法国船停靠在东印度群岛的安汶荷兰殖民地，在陆上休息了 1 个月，补充了有益健康的新鲜食品。预计向西驶进印度洋时他们会遇到不利的风和流，探险队后来回到澳大利亚海岸莱文角。他们沿澳大利亚南海岸走了一段，但是没有找到失事地点。

1793 年 1 月这些航海家回到范迪门地的探险湾，当他们的船队从西北方向到达这个岛时，当特尔卡斯托从他的船向西偏航判断应该有一条隔开岛与大陆的海峡。他没有时间去探明这一点，政治原因也使法国没能在岛上建立危及英国在悉尼湾的殖民地的殖民地。

法国人第二次造访范迪门地历时 1 个月，与当地人友好相处。博唐－博普莱测绘了现在的当特尔卡斯托海峡。如果法国人想与英国在南大陆对峙，那是个建殖民地的好地方。休整并补充了充足的咸鱼之后，探险队继续向东北进入太平洋，在汤加和新喀里多尼亚逗留，经过新赫布里底、圣克鲁斯和所罗门群岛附近。“希望”号船长于翁·德·克马德克离开新喀里多尼亚后不久去世，他们在到过的那些岛屿上没有找到拉彼普兹船队的痕迹。

坏血病再度流行使他们放弃了寻找幸存者，哪怕是他们的下落的

希望。这次当特尔卡斯托本人也死于海上，这时由A. 埃斯米威·道里博代理指挥。由于60名水兵不久染上坏血病，他决定先在卫古岛休整，再去荷兰殖民地布鲁岛。当1793年10月这支队伍到达泗水时，船上仍有很多人患痢疾，那时得知法国与荷兰正在欧洲交战，荷兰人很难给他们以保护。

同时还知道处决路易十六后法国国内发生革命和内战，群情激奋，官兵们分成两个敌对阵营——共和派和保皇派。1794年2月道里博竖起保皇派旗帜，囚禁共和派官兵。队伍分裂了，探险不可能继续，保皇派不知道他们回国后的命运，道里博努力控制局面，直到他死于痢疾，于是探险队完全瓦解了，船被荷兰人扣押作为抵偿花费，幸存者自寻门路回国，这就是宏伟计划的悲惨结局。

疾病和死亡固然是当特尔卡斯托探险队解体的主要原因，但法国海军的动乱也难辞其咎。法国大革命前，海军军官升迁只限于贵族，年轻人晋级必须有贵族出身，军服的颜色强调了阶级区别，贵族为红色，其他人为蓝色，蓝色军官在皇家海军里发展的机会很少，主要在商船服役。1786年的改革触动了严格的阶级结构，军官职位向所有人伍的人开放，但还保留了一些限制。在“研究”号和“希望”号出海几个月以前，1791年9月在海港和舰上都发生了骚乱，要求进一步改革。这些改革在这一年探险队出发后才生效。参加改革的人的急躁情绪和几位老百姓博物学家同情平民要求较高地位在船上产生了摩擦。在当时革命的气氛下，探险队的成员间的争斗一触即发，“研究”号的医生和植物学家雅克－于连·乌图·德·拉比亚迪耶有强烈的共和派观点，他特别对贵族出身的军官手中的特权不满，把领导权在泗水交给反叛者。

德拉比亚迪耶采集的丰富的标本被荷兰人没收，交给英国，多亏交战国的科学团休还继续存在良好的关系，在约瑟夫·班克斯爵士的斡旋下最后还给法国。1799年德拉比亚迪耶才能出版包括最重要的博物发现的精美图册《寻找拉彼鲁兹航次报告》。

水文学家博唐－博普莱的丰富的海图也落人英国人之手，罗塞尔上尉坐船把海图带回，船被英国海军俘虏了。英国海军部复制了图，

给了马修·弗林德斯用于“调查者”号的新荷兰之旅。罗塞尔直到1802年亚眠和约之后才为英国人释放，经他的手出版了探险的官方报告。

当特尔卡斯托寻找拉彼鲁兹和他的部下下落的人道主义使命失败了。虽然这次探险得到了宝贵的太平洋群岛的准确海图，但付出了惨重的生命损失的代价，死了3名指挥者和84名船员。

船上的条件

那个时代用于探险的船载重量一般为300～400吨，船上带了很多帆，在数年长时间的航次中，狭小的舱室里住着操作使帆所需的大量水手，卫生条件极差。最困难的是食物保鲜，连水都变臭了，饼干长了蛆和昆虫，蟑螂到处都是。德拉比亚迪耶记下了当特尔卡斯托航次的条件，描述了他们离开布列斯特5个月以后干食品变质的状况：

“蛆从饼干开始很快长满我们剩下的食物，我们很难克服看到蛆在我们的食物里蠕动所产生的恶心。[Labillardiere 1801Vol 1, p. 88]

在航次刚开始时，咸猪肉或牛肉保存得较好，是主要的食品。要改变一下食谱，把牲口（牛、羊、家禽）有时也带上船，更使卫生条件变糟。

牲口要吃食喝水，还占地方。德·拉比尔迪耶记载了在安汶允许患坏血病水手携带活猪活禽自用时在夹舱产生的恶臭。瘟疫特别是坏血病流行时，据说鲜肉有利于康复。从停靠就医的港口得到的新鲜家禽或肉常留给病号，很多航次都有不少病号。新鲜水果、蔬菜是有益的，但不熟悉的绿色植物却可能是有毒的，都知道棕榈的嫩芽是可食的，但有些棕榈却不是。迪蒙·迪维尔的星盘号航次就出过事。”

1809年在法国尼古拉·阿帕尔展示了在瓶和罐里靠热处理储存食

物的方法，但是热带的炎热还是使食品腐败。英国人用铁盒代替木盒储水，隔一段时间必须另外寻找水源，还得注意补给时可能遇见的敌对土著居民。薪柴也是必须更新的资源。新荷兰西岸荒凉的海岸水是很稀少的，有些探险队到那个区域时甚至带着蒸馏海水的装置。

载有民间或军队科学家的帆船还有一个困难，就是需要保存动植物标本。采集标本占了探险队日程的很大一部分，在日光下曝晒标本不受船员欢迎，有时被破坏或轻率地对待。从海底挖出或从海里捕到的鱼尽管它们可能是稀有物种，也很难逃过船上厨师的手而保存下来。还有一个故事，詹姆斯·克拉克·罗斯探险队"恐怖"号的艏部发现粘着一种南极稀有物种，艺术家匆匆地画了下来，却来不及收藏就被船上的猫吃掉了。

不仅科学探险和考察船的甲板十分拥挤，堆满动物的圈和植物的园地，舱室也是杂乱拥挤的，通风条件很差。因缺少水，很难搞卫生，在热带只能用海水洗澡，在桅杆上松松地挂着的帆可以供不会游泳的海员在里面戏水和洗澡（图 2.2）。



图 2.2 虽然那个时代大多数海员不会游泳，在热带海域仍可以在桅杆上挂着的帆里戏水。

招募在远航探险队服役的水手有时很困难，在停靠港还常有人开小差。有时染上坏血病、热病和痢疾的船员不得不在途经的停留地下

船，如果他们幸而康复，就会想尽一切方法回家。

19 世纪之交的海洋科学

19 世纪初天文导航科学比较先进，探险队配备有精密仪器。而海洋科学的其他学科还相当幼稚。物理地理学的很多问题还是因为好奇而提出的，威廉·丹皮尔和埃德蒙·哈雷观测了贸易风，1735 年另一位英国人乔治·哈德雷补充哈雷对这种重要的风的论述。还测量了海水的盐度和化学组成。博物学家大都会采集浅海动物。虽然获得了沿贸易航线的一些洋流的知识，但是仍不清楚大洋环流的全貌。改进导航需要更多的海面洋流的知识。采集大洋风和流以及海水温度的信息看来是有用的。开始研究海面以下海水的运动，但是没有政府资助的考察航行，只靠对海洋物理特性的好奇是不可能进行广泛应用的海洋观测。在世纪之交，法国拿破仑的领土野心提供了机会。

1800—1804 年拿破仑的发现和科学探险

英国人仅对澳大利亚的东半部提出主权要求，他们把这部分领土称为新南威尔士。在杰克孙湾的悉尼湾建立的立足点是很不稳定的，只从这个居留点沿岸向北向南做过很短的考察，12 年后英国政府才组织了环绕这个大陆的全面的航行和测绘。那时他们甚至还不知道新南威尔士和新荷兰构成了一个大陆，1799 年才知道范迪门地是一个岛。

1801 年英国派遣马修·弗林德斯率领“调查”号做全面的环“大陆”航行和测绘。英国海军部探险澳洲海岸线的兴趣，无疑受到当特尔卡斯托在东范迪门地发现优良港口和 1800 年法国派遣的包丹赴同一海域探险的鼓励。

派另一个法国探险队赴南半球的建议最早是尼古拉·包丹提出来的，后来他当了探险队的领导。他乘“美丽天使”号在西印度的岛屿历时两年为巴黎自然博物馆采集标本，已使他声名鹊起。博物馆馆长安托万－劳朗·德·儒西俄热心支持包丹向海军部长建议组织的环球

科学考察，尽管前两次探险遭受损失，但还是顺利地得到国家研究所和波拿巴·拿破仑的批准。然而最后探险预定规模削减至主要环绕新荷兰的水域。

拿破仑为探险南方大陆的计划所打动，当时只有大陆的北方和东方的海岸线绘成图，而且不详尽。没有理由承认这个新大陆是英国一家的领土。领事也是科学之友，新建立的科学团体国家研究院的成员，他对将要出发去新荷兰的探险队的一项特殊指令是为约瑟芬皇后的御花园收集那片土地的动植物。[Horner (1987) p. 82]

很多学者愿意参加，专为推荐专家设立的研究院的委员会没有困难地选满他们设定的职位。两艘船出发时载有2名天文学家、2名植物学家、5位动物学家、2位矿物学家、2位艺术家、5位园艺家和2名地理、水文学家，数目远远超过拉彼鲁兹或当特尔卡斯托率领的科学队伍。没有“海洋学家”，但有一位动物学家弗朗索瓦·庇隆，他多才多艺，成为海洋学的先驱。

1800年10月尼古拉·包丹指挥的庞大探险队从勒阿弗尔起航时弗洛留订的日程上特意列出考察“新荷兰的西南、西、西北和北岸”。装备的两艘船是载重量350吨的30门炮的轻巡航舰“地理学家”号和比较小一点的“博物学家”号（图2.3）。“博物学家”号船长是爱麦虞限·阿美兰，在“地理学家”号上当候补生的是后来太平洋探险的指挥官雅辛特·德·布干维尔，著名的18世纪探险家路易·安托万·德·布干维尔这时已当上国家研究院的成员。两位中尉的名字也值得一提：昂利·德·弗莱西奈和他的弟弟路易。后者在这一航次中当助理博物学家，而在下一次派赴同一海域的重要科学考察中担任领导。

两船起航前做了很多详尽的计划：

> 我们的各种天文、外科医学、气象和地理学仪器都是由首都最著名的能手制造的……两船都藏有最好的海洋学科、天文学、地理学、博物学、植物学和航海日志等著作。所有有关科学的指南都是研究院的委员会制定的，成员有弗洛



图2.3 拿破仑派遣测绘澳大利亚海岸线和研究自然科学的各学科的两艘船“地理学家”号和“博物学家”号。[引自庇隆，Péron（1807）《发现南方大陆之旅》，勒梭绘]

留、拉塞帕德、拉普拉斯、布干维尔、居维叶、儒西依、勒列弗、加缪和朗格尔，这可证明我们的指南是多么齐全和高水平了。[Péron（1809）p.4]

随包丹出航的平民科学家除一名以外都是年轻人。他们不受海军纪律管制，对专制的46岁的指挥官来说是无礼和讨厌的。与预想不符的冗长的航次的枯燥造成大量减员。最后国家研究院写给法国政府

报告的结论是这样说的：

> "参加探险的科学家罹难名单令人伤心。你们推荐给领事的出发的23人中完成整个探险后只有3人回国。有几位很快厌倦他们的职务，在各地登陆离去，所剩无几!" [Péron（1809）p. 8]

探险队领导尼古拉·包丹也没有熬过这次探险。

弗朗索瓦·庇隆和他对海洋温度的研究

显然包丹探险队最突出的科学家是弗朗索瓦·庇隆（图2.4），他生还了，当上了那个航次的官方录事，当时他还是个22岁的年轻人，在最后一刻参加了探险队，当上了他所谓的"第五动物学家"。而两位动物学家在伊尔德法兰西（毛里求斯）离队，另两位在帝汶患病，随后去世。庇隆以超凡的精力和热忱与助理炮手和艺术家夏勒·勒梭一起，采集了国家研究院报告中所述的10万件以上宝贵的动物标本。此外他还写了关于各个科学学科的论文，因此成为院士，他的一篇文章在海洋学史中占有显著地位。

论述海水温度的文献

庇隆的论述海水表面和深处温度的文章，是有规律地（每隔6小时一次）比较了海面和大气的温度后撰写的，他交给船长后列入航海日记。这篇文章交给研究院后列入《发现南方大陆之旅》第二卷[Péron and Freycinet（1816）p. 323]，他的题目是科学研究相当新的方向。在18世纪邻近几年有人对观测海面温度，特别是详细调查横跨北大西洋航线上的湾流暖水感兴趣。庇隆刚从巴黎医科大学毕业，还在国家博物馆听了很多课，他的教授很注意他对广泛的科学学科的热心追求。他的老师有博物馆馆长植物学家儒西俄，动物学家拉塞帕



图2.4　弗朗索瓦·庇隆像，他的艺术家好友、同事夏勒—亚历山大·勒棱1810年他死前不久绘。庇隆在1800—1804包丹“南方大陆”探险中研究海洋科学。他的桌上的图是第一幅完整的澳大利亚地图。[引自庇隆和弗雷辛奈，Péron and Freycinet（1816）]

德、拉马克和居维叶。拉马克论及博物学研究必须包括对发现生物的环境的观测，这位勤奋的年轻科学家看到将要在海上渡过的漫长岁月是他按拉马克的教导研究海洋环境的绝对好机会，他在去新荷兰的路上每隔一定时间间隔用温度计、比重计和气压计测量，在航次允许的

情况下有时还测量深海的温度。

庇隆在航行中做了系统观测，比较了海面温度和其上大气温度之后作出下列结论：

（1）海水温度一般在中午低于同一时间阴影处大气的温度。

（2）午夜海水温度总是稍高于大气温度。

（3）早晚两温度一般大致相等。

（4）比较大气与海面温度的观测每天4次：上午6时、中午、下午6时、午夜，在同一纬度的大气观测数据集的平均恒高于在同一纬度海水中所测得，至少在北纬49°至南纬45°间没有看到任何例外。

前三条是普遍的，事实上，这个航次没有遇到水的平均温度低于大气温度的寒流。

海水平均温度高于其上大气温度的结论看来并没有使“地理学家”号指挥官吃惊。他在日记中的评论，说明他怀疑这位年轻科学家自己所做的工作的意义：

> “庇隆在他给我的对海水温度的观测报告中看出，他不怀疑海水温度比大气暖一些，而对这一点所做的大量实验向他证实了这一事实，但是还不知道为什么。然而虽然他还不确信，仍在收集更大量的数据以证明对他还是不太明白（也许别人已经明白了）的事实。”［Baudin（1974）p. 42］

航次早期科学家们的活动和他们对海上生活的反应使包丹感到很有意思。

> “中午以前我们有两个花絮。第一次从看见几条飞鱼开始。科学家们无疑是第一次看到，很是惊奇，每次船溅起的浪带出一条鱼时，最先看到的人就成了大家注意的对象，它跃出多高朝哪个方向引起了没有结论的科学讨论，直到大家看到另一条鱼为止。
>
> 第二次，不是大家都经历的，是关于庇隆的，然而他的

所有科学家朋友和目睹这件事的大部分军官都为之庆幸。中午以前他在左舷读温度计。一个浪头正好打到他，冲走他的记录本和温度计。他认为必死无疑，但是这起巨浪带来的事故没有使他受伤。当海水打到船头又流去时，他并没有摔到海里，还在原处，他庆幸还活着。” [Baudin (1974) p. 37]

庇隆的平均数据的月度总结列入包丹的日记，直到“地理学家”号到达新荷兰为止，但是在出版的报告中没有海面温度表。这种表在后一世纪考察报告中才普遍。1810 年 12 月庇隆去世，享年 35 岁。他只完成了这个航次正式报告的第一卷。至今我们没有在法国档案中找到他的海洋数据的手迹。庇隆个人的文章归了他的艺术家朋友和合作者夏勒·勒梭。

上面所说的庇隆把海水和大气温度间的关系的总结适用于远离陆地的地方，对靠近岸边的海域他总结为：

（1）其他条件相同时，沿靠近大陆的海岸处海底海水的温度高于开阔海洋同样深度处。

（2）越接近大陆或大岛海水温度越高。

我们现在知道风适宜时，海岸边沿岸海水可能比开阔海洋同样深度海水冷，在这些沿岸地方从深处来的上升流能把冷水带到海面。这种水有时富于营养，对沿岸渔业有利。上面两个结论都可能是庇隆得到的，因为在澳大利亚的东西海岸都流着暖流——东澳大利亚海流和莱文海流。

科学家们放弃了探险

当探险队离开勒阿弗尔 5 个月以后，他们到了印度洋上毛里求斯的伊尔德法兰西，比计划晚了不少时间，船员大批离队。几名军官和 10 名平民科学家也决定不再继续走了。庇隆在他的报告中责怪了指挥官，他说，考察队员当时“不能忍受他们所受的虐待”，“应当为他们的未来担忧”。值得指出尼古拉·包丹有足够的经验负责科学探险，

他率领过3个专门到远方采集植物和动物标本的航次，最近的一个航次到西印度群岛是成功的，给巴黎自然博物院院长儒西俄留下深刻的印象。其中的3名采集科学人员志愿随他远航新荷兰。他们不愿在伊尔德法兰西放弃探险。几名平民专家面对着将来的艰苦和不适，甚至是危险的海上年月，意志衰退，打了退堂鼓。庇隆在报告中批评了包丹拟定的大西洋航线，使他们在赤道无风带耽搁了17天。他说沿向西偏一点的弗兰克·崔纳［Horner（1987）p. 93～96］指出的航路可以走得更快，所需的时间与其他同一时代有经验的航海家，像库克、当特尔卡斯托差不多。

博物学家还抱怨给他们的食物和饮料质量不佳，军官也不满，有几名声称有病，叫岛上的医院正式留他们住院。包丹答应过问，但没有得到他们同意。军官和士兵的减员比科学家的流失更为严重。包丹坚信探险队带的人太多，他在日记中这样写道［Baudin（1974）p. 27］：

> "从另一方面讲，我注意到观测并不需要那么多科学家上船，现有的人的一半已经嫌多了，那样的话可以住得舒服些，我也可以少一些麻烦。"

在伊尔德法兰西法国殖民地官员恐怕英国人从印度进攻，对探险队的科学事业的兴趣也不大，给他们的帮助很小，尼古拉·包丹确信他们是在积极地鼓励开小差。他很难得到新鲜的给养，比他预计为船补给所需的时间停留得要长。

弗洛留公爵制定了探险的守则，规定了很详细的日程，预定直接由法国殖民地赴范迪门地，4月、5月、6月用于从该处向西调查澳大利亚大陆的南部海岸线。但是包丹到1801年4月都没能离开伊尔德法兰西。缓慢的出航和在法国殖民地的过长耽搁使他丧失了考察较冷纬度的最佳航海季节。包丹知道他打算得到的补给不能满足，便决定先驶向新荷兰的西南角莱文地，而不是直接去塔斯马尼亚。他决定向北考察直到帝汶，不去南岸，这个决定也使在1801年7月1日离开

英国的马修·弗林德斯，在调查未知南方海岸主要部分的过程中赶到法国人前面。这大概使拿破仑不快，成为法国贬低包丹成就的一个理由。在法国研究中，弗兰克·霍纳摘引为尼古拉·包丹作传记的作家之一欧底亚著于19世纪50年代的传记中写道，拿破仑曾说过："包丹该死，我要吊死他。"不管是真是假，这句引语指出当时对尼古拉·包丹组织这次探险的评价之低。

深处的温度

"地理学家"号和"博物学家"号1801年5月27日到达澳大利亚的西南角，接近现在的博物学家角，当船靠岸停下时，弗朗索瓦·庇隆和一位同事在每隔规定的时间间隔抛下拖网从大陆架（10～100英寻深）把各种生物捞到海面。他不仅为生物的荧光所惊异，还奇怪挖出来的动物的温度高于大气和海面温度3℃。弗朗索瓦·庇隆猜测这说明或者海底的水被地内部发射出来的热量加热，或着海洋生物自身发热给周围以热量。当地"地理学家"号进入新荷兰沿岸水域的第一夜，正好放下温度计，装在木箱里，填满绝缘用的油脂，把它放在50英寻深处，直到早晨。这个实验发现在那个深度水温为22.4℃，比海面的21.25℃略高一些。（这个结果只在有盐度的补偿变化时才正确，这时底层水的密度比表层大，否则就会发生对流，将两层水混合。）

从博物学家角向北航行到帝汶补给途中，法国探险队进入一个大湾，他们把它叫做"地理学家湾"。最后，在这里渴望登陆的分队考察了海岸和小河，遇到一些当地人。而当风暴发生时，"地理学家"号派出的小艇在浪中搁浅，夜里很多人在岸上等着第二天来人搭救。救援队在大浪中想收回小艇时，一名叫做伐斯的船员被卷下水后没有上来。如果他努力游上岸，除了得到当地人的帮助外没有生还的希望，对这个法国人的命运有几种推测。这时逐渐增大的风暴迫使两艘船开向开阔的海域。两船分开了，在到达帝汶前没有碰到。"博物学家"号船长阿麦兰靠近罗特尼斯特岛避风，而"地理学家"号上的

包丹不顾约定罗特奈斯特岛为第一集合点的事实，直接驶向鲨湾，使两船失散了。他在“博物学家”号开进那里前停了4天，在帝汶重新集合已是3个月以后的事了。

阿麦兰花了7个星期调查测绘了鲨湾，寻找“地理学家”号是否在那里或是否曾到过。他对他的伙伴船的关心远超过包丹，后者在到过的岛上没有留一点信息，“地理学家”号分队在鲨湾口的伯尼尔岛建立天文台校验他们的钟和天文仪器。在这里船员的饮食增加了很多盛产的鱼、蟹、牡蛎和蚶。

终于有机会考察这片神奇的土地使庇隆很激动，他的粗心和不在规定时间回船两次差点送了命，惹得船长发怒。第一次他独自穿过伯尼尔岛，在没有特色的景观中迷了路，害得他的小艇在岸边等了他一整夜。庇隆得感谢法西·皮凯中尉没有遵守船长草率决定他回船的命令。他确信这就是包丹后来在探险中粗暴地对待皮凯的理由。在今天包丹的不合理命令会使我们感到震惊，因为在那个遥远的海岸上不可能遇到欧洲人。包丹在帝汶的古邦找到了借口把中尉逮捕了，关进荷兰监狱。第二次是一周后庇隆又独自出行，被浪打到礁石上，摔伤流血，衰弱得走不动，在岸上躺了几个钟头，他的迟到又使人着急。

我们说过庇隆批评领导对科学家和他们的事业心怀有恶意，可是从包丹的日记中很清楚地看到至少在探险开始时，他的健康良好他本人对博物采集很感兴趣，十分喜欢发现的新动植物。领导人也是值得同情的，他们要对船的安全负责，还要关心船员在无人测绘过的海岸的安全，当庇隆这样的有事业心的人的轻率危及安全时，难免不耐心。

“地理学家”号和“博物学家”号在1801年11月渡过印度洋向南直航范迪门地，在帝汶待了3个月以后，总计牺牲了12位船员。在这里两艘船在测绘岛的东岸时又分开了。阿麦兰船长带着“博物学家”号花了些时间详细测绘了东巴斯海峡后，向北到了杰克孙港。“地理学家”号上的包丹想考察大陆的南岸，不顾他的船员苦于坏血病和痢疾的折磨，奋力经过巴斯海峡向西。他不能做什么详细的测绘，因为他与在塔斯马尼亚东岸测绘的小艇上的8个人失去联系，其

中有水文学家夏勒－皮埃尔·布朗热。他找了他们几天，终于丧失信心。失散的小队在岛旁边班克斯海峡入口碰巧为英国双桅船“哈灵顿”号船长坎贝尔救起，更幸运地是很快遇到“博物学家”号和阿麦兰。

当包丹沿澳大利亚南岸向西航行时，在坎加鲁岛东部的小海湾遇见“调查者”号上的马修·弗林德斯，这个海湾因此得名为因康特（邂逅）湾。他们通过翻译讨论了他们的有关发现。包丹不知道英国探险家在这个海域活动，对弗林德斯已经测绘了莱文角以东的澳大利亚大陆南岸很失望，因为这正是他的一项主要任务。包丹不顾“地理学家”号所受重创，从因康特湾向西工作了很短时间，考察了坎加鲁岛和圣文森特湾，到达帝汶后已损失了10个人，过半船员患病不适于工作，这时他没有通过巴斯海峡，而是再绕过范迪门地驶往杰克孙港进行补给。

在杰克孙港休整

“地理学家”号6月10日到达杰克孙港（今悉尼），但因当时西风和西北向的海流使它难于进港，在北边的布罗肯湾和南边的植物学湾之间抢风曲折航行了1个星期，每岗只有6个人勉强使帆。当他们被发现后，一条引水船去迎接他们，主要是为了救援，至少庇隆描写总督的“有力的支援”到达时引起的“一致的欢欣”，刻画出因他们领导的决策和管理失误使他们陷入的困境。

在有新鲜蔬菜、面包和为船员提供的悉尼临时诊所，他们休整了3个月。因新鲜肉缺乏，金总督为客人屠宰了一部分殖民地饲养的畜群。虽然船的给养也很缺乏，但是幸运地是在法国人准备起航前，美国双桅船到港，运来咸牛肉和咸猪肉。法国船靠近弗林德斯的“调查者”号在杰克孙港抛锚，两个敌国官员友好地交往了，包丹指挥官和金总督间也产生了很深的友情。

包丹探险队在恢复健康、修复船只、补充给养后，于1802年11月继续向南航行。“博物学家”号装着可观的33大箱共计4万件博物

标本在巴斯海峡金岛稍事停留后直航法国。船上还有为约瑟芬王后的公园收集的活鸟兽。在“地理学家”号回归前探险队的消息已先到法国。消息也从伊尔德法兰西一些因为不满而在到达新荷兰前离队的博物学家和官员传回家，他们渲染了尼古拉·包丹对探险的失误决策。

他们在悉尼购买了一艘小纵帆船（30 吨，29 英尺长）“卡苏阿林娜”号供近岸考察海岸线，由路易·德·弗雷辛奈指挥，两艘船在巴斯海峡西口考察了金岛和坎加鲁岛，然后比前一年更详细地考察了大陆的南岸和西北岸。两船在坎加鲁岛附近失散时弗雷辛奈受了些苦。包丹似乎对“卡苏阿林娜”号上的小分队的生死漠不关心，他们缺水，在乔治王湾触礁失散了 13 天，幸亏后来重逢了，庇隆和弗雷辛奈的探险记着重地写了这次事故。

法国探险队又到了鲨湾和帝汶，疾病又使船员不满，耽搁了 1 个月。最后包丹自己也患病了，只好放弃测绘卡奔塔利亚湾的计划，7 月 7 日驶往毛里求斯的伊尔德法兰西。他在到达那个岛之前两天，9 月 16 日因患肺结核逝世，中断了他的日记。“地理学家”号在埃尔·伯纳·米留斯率领下返回法国，他是“博物学家”号的第二任指挥官，在杰克孙港长期养病后，航行到伊尔德法兰西。“地理学家”号在阔别 3 年有半之后于 1804 年 3 月 24 日回到故乡南布列塔尼的洛里昂港。

深海温度

这次探险对巴黎自然博物馆的贡献使教授们很高兴。对海洋物理学知识的贡献大概是公众最不注意的，然而它对慢慢发展起来的海洋科学相当重要，为几十年后的海洋科学家所经常引用。动物学家庇隆除了做海面和大气条件下温度的比较研究之外，还找机会研究开阔海洋深处的温度。他说这要归功于指挥官的失误。值得指出庇隆看到他的物理地理学测量在其他科学学科中的价值：

“气象学家能从中得到大洋中部有用的气象变化数据；

能给博物学家各种海洋动物栖息地的必不可少的知识；地质学家和物理学家能了解热在海洋当中的传播以及地球内部的物理状态，至今最深的开凿也不过抓破一层皮；总之没有一门科学用不到这类实验的结果。”

有热量从地心发散出来吗？

那时科学家们有一种假想，即地心可能是热的，热渗透进海的底层。这个理论的来源是已经发现的陆上火山活动发出的热量引起整个地中海底层相对升温。在欧洲，早在1706—1707年马尔西格利公爵测量了里昂湾的水体，发现均匀的海底温度为列氏10°（12.5℃）。维塔利亚诺·多纳蒂也在亚得里亚海得到类似的结果。然而在18世纪70年代和80年代，瑞士学者荷拉斯－本尼迪克特·德·索须尔做了5年以上的实验，证明阿尔卑斯山湖底在各个季节温度都低于4～5℃，而在冬季表面结冰。

这些发现支持了地质学关于地心学说的两个敌对学派，根据其一，地球有熔融的心，不断发出热，在表面温度受大气条件影响时，仍保持地中海深层温度恒定。对立学派认为地心是冷的，索须尔测出瑞士湖泊深处温度在4～5℃时支持这个理论。当然后来认为这个现象是淡水的特异发散特性。温度降低密度大多增大，而在4℃以下，温度越低水密度越小，0℃水冻冰。因此瑞士湖泊的观测是“对流下沉”的例证，表面湖水温度冷却，直到在4℃左右到达最大密度时的温度。当整个湖泊混合，水温均匀为4℃时，混合停止，即使表面结冰，底部的水也不会结冰。18世纪和19世纪的科学家思考瑞士淡水湖深处的水是否比地中海底冷得多？索须尔怀疑马尔西格利的发现，但是他1780年在地中海的两处所做的实验发现非常接近的温度13.25℃。

这就是困扰当时科学家的问题。20年之后法国科学家让－巴蒂斯特·约瑟夫·傅里叶从热扩散实验中，正确地推论出地球表面温度不决定于熔融的内部，而本质上来自太阳辐射。弗朗索瓦·庇隆告诉我

们利用“地理学家”号滞留在西澳大利亚陆架海域测出的水下温度与地中海的发现一致。他说在这类浅海中温度变化缓和，而且与在距离陆地较远的水下观测不同。庇隆对沿岸水和开阔的海洋水的温度有差异提出的原因更有悖于我们现在的观点，他认为，海岸附近覆盖海底的动植物本身温度较高，使沿岸水域底层可能有较高温度也是一种因素。

在庇隆的时代没有多少开阔海洋水下温度测量可供研究。1740 年英国船长亨利·埃利斯用斯蒂芬·黑尔斯发明的仪器从海洋深处提供海水样品。实验结果写成文章报给皇家学会，引起科学家争论的是在热带海洋发现的海面温度高达 20～30℃，而海底却降到 11.7℃ 现象的原因。从埃利斯的时代开始，库克第二航次在南半球以及康斯坦丁·菲浦斯船长在北极海域所做的水下测量结果引起了科学家的好奇心。庇隆可用的文献实验总共只有 17 个温度测量：埃利斯 2 个，库克 6 个，菲浦斯 9 个。

测量海洋深处的温度

在弗朗索瓦·庇隆的时代已经试用了几种方法取得精确的水下温度数据。无论什么情况采水器的回收时间都是非常重要的，很清楚，这段时间内会吸热。庇隆想尽办法减少吸热，制造绝热很好的温度计外壳。他在报告中叙述和绘出（图 2.5）他用了所有找得到的天然绝热材料。在象牙棒上的水银温度计封在直径大约 3 厘米的玻璃管内，装在大一号的木盒内，用木炭填满空间，木盒外再套上第三层金属盒，用熔化的牛油填充空隙。设计一种机构能敏捷地开启盒子，仪器封在双层沥青帆布袋内，再挂在测深缆上。他们最初试验时，不得不用简单的仪器，因为在船上很难做金属管。

庇隆的想法是使带有各种绝热材料的温度计达到周围水的温度，然后把仪器迅速提到海面，使绝热层当中的温度计来不及显著变化。在第一次试验中温度计浸入水中的时间仅为 5 分钟，他抱怨说这已是船长允许的最长时间了。后来他利用船被困在无风带的机会把仪器浸

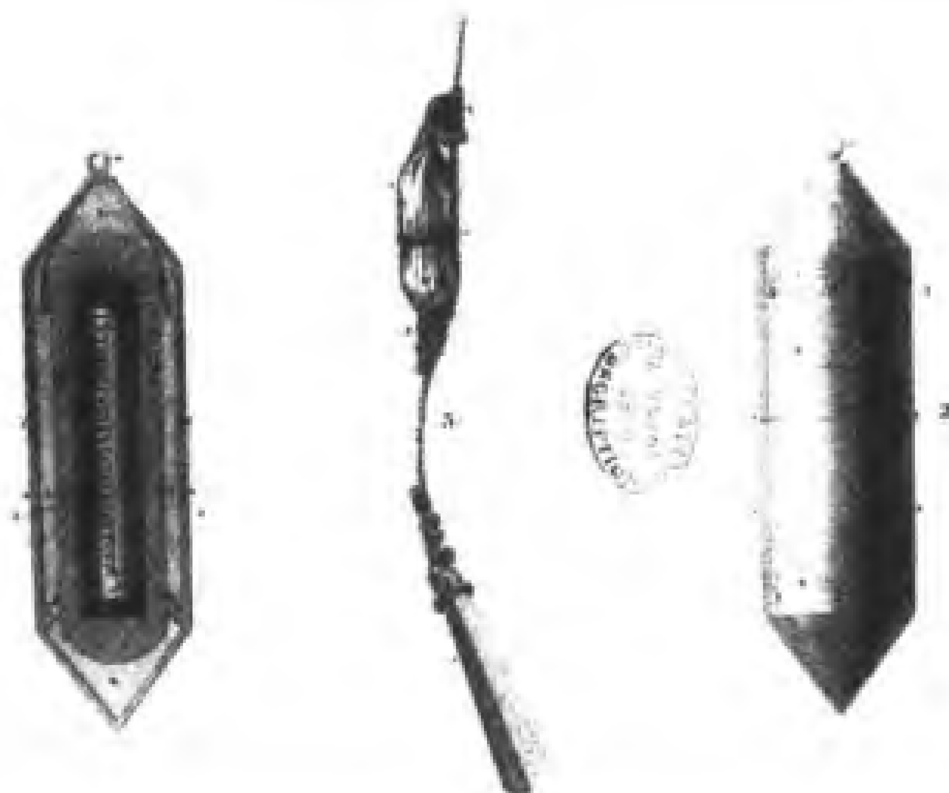


图 2.5　庇隆发明的深海测温绝热温度计。如图示挂在测深缆上，但在包丹探险队中没有用青铜外壳。[引自 Péron and Freycinet（1816）著《发现南方大陆之旅》]

泡 1 小时以上。最好的回收时间为 12 分钟，最慢的为 45 分钟，他归咎于船员不肯花力气绞起笨重的测深缆。

1800 年在大西洋中部北纬 8°～7°（深度分别为 152 米和 91 米）做了两次实验。第一次温度为 25℃（浸泡时间仅 5 分钟），第二次为 16℃。两种情况下的表面海水温度均为 30℃。1804 年返回的航次在大西洋北纬 5°和北纬 4°又做了两次测量，在更深的地方（366 米和 654 米）分别测出更低的温度 9.2℃和 7.5℃。这些测量都是在离赤道 10°以内做的。

这结果非常重要。庇隆看到在较深的水层测出的温度是惊人得低，温度随深度降低，他提出问题：有极限吗？海底附近海水温度到底有多低？当时有个假说，在海洋最深处温度是均匀而恒定的，约为

列氏 10°（12.5℃），他对不久前做的测量并被广泛接受的概念提出了疑问。

还有另一个惊人的情况。庇隆在比埃利斯船长更靠近赤道的深度探测时，发现赤道地带表面下的水比高纬度表面的水冷。这个异常需要作出解释，为什么会这样？科学家认为海洋物理学需要此现象的更多数据。

科学发现的出版

科学探险参加者回国后仍有大量工作要做。如果他们的工作对科学、对气象学、对航海有预期的重要性，就会寻找资金出版。他们常常在出海之前资金不能保证，有时回来后由于政治形势已发生变化，而得不到资金。这次包丹探险队，由弗朗索瓦·庇隆和路易·德·弗雷辛奈争取到的出版探险成果的资金也颇费周折。那是因为英国战火重燃，使海军部对这支伟大探险队的回归不感兴趣。

在庇隆的申请下，海军部长 M. 德克雷叫他写报告，弗雷辛奈画地图和图鉴，自然博物馆拨基金印图集。1806 年报告第一卷完稿交印。《南方大陆探险全书》和报告中都没有提尼古拉·包丹的名字。庇隆在 1801 年英年早逝，他未竟的第二卷传给了德·弗雷辛奈。在 1807 年到 1816 年间这位被人看不起的指挥官包丹仍然没有被承认（第 2 版 1824 年出版）。报告中提到他时只称他为“指挥官”或“领导”，他的航海能力常常被质疑，对探险的组织工作也受到毁谤。他始终背着歧视探险队科学目的的恶名。

权势与科学之争

对考察队指挥官的抱怨是常见的，但这一回尼古拉·包丹并没有说出他的观点。从他的未完成的日记和在途中草就的长篇报告可看出他在准备供出版的材料，但他的大事记并没有出版。直到 20 世纪在澳大利亚才出版了他的《海上日记》［澳大利亚学者克莉斯蒂娜·柯

内尔（1974）译成英文]。澳大利亚历史学家弗兰克·何纳（1987）考证了档案材料，包括指挥官和其他探险成员的私人日记，才有可能描绘出这位探险队领导比较公正的形象。很显然，探险队的困窘、疾病和减员引起队员对他产生敌意，不仅来自失去耐心的科学家，而且包括一些军官。当然两部分人中也有一部分对他怀有感情和尊敬，科学家的要求与沿着未经测绘的海岸线航行的指令之间不可避免地有抵触。在像弗朗索瓦·庇隆这样的曾在共和军队中作战，并有革命倾向的热情的年轻科学家与在独裁年代成长的，而且在奥地利约瑟夫二世皇帝（法国废后玛丽·安东妮特的兄弟）的军队里服役的较年长的军官之间必然发生龃龉。在贵族出身的年轻军官亨利和路易·德·弗雷辛奈与蓝衣军官尼古拉·包丹之间也难免有私怨。

1800年11月第一阶段在特内里费岛的圣克鲁斯，包丹的日记（1974年p. 21）记载了他已发现他的科学小分队的难以相处，但是他已准备原谅他们的行为：

> "最令人生气的是，从抛锚开始他们就缠着我要上岸，我不得不允许以摆脱他们。这里我要说在过去若有科学家上船工作（或者上船几天），船长从起航开始就必须有很大耐心。我承认虽然我并不缺少耐心，可是科学家还是常常使我到了忍耐的极限，只得愤怒地躲回舱去。然而他们并不熟悉我们那一套，所以我们还得原谅他们的行为。"

当探险队到了新荷兰的西海岸，面对着用长艇或小艇把小分队送上岸的危险时，包丹实在忍耐不住了，他不仅是生气，而且是暴怒了：

> "大的长艇放下去了，载着科学家，他们的学问和他们的行李，这些先生们永远不会忘记摆排场。他们的餐具、锅、盘子和汤盘堆满了小艇，没有插针之地，一部分东西都得装上长艇。这些用具惹恼了我，我回舱去非常不高兴，为什么他们不留在'博物学家'号上。"

指挥官与民职科学家间，指挥官与海军军官间的摩擦并不是包丹探险队所独有的，而是漫长而令人厌烦的探险旅程中不可避免的。拉彼鲁兹和民职科学家拉马农在“罗盘”号上也有尖锐的冲突。在后来的法国太平洋探险中，所有的科学考察工作都是由受过特别科学训练的军官做的。

科学的护照

当“博物学家”号到达杰克孙港时，英、法之间仍处于战争状态。然而值得注意的是，英国港口海军基地仍给“博物学家”号和“地理学家”号以支援。这些法国军舰上的炮主要是对付海盗，为通过海关，法国指挥官通常都带着欧洲各国政府签发的通行证。18 世纪和 19 世纪的科学探险虽然是政府资助，但也是欧洲国家的学术团体发起的，他们之间有悠久的合作传统，不管所属国家间是否交战。1800 年 5 月 16 日一封给约瑟夫·班克斯爵士的信中说［译文转抄于 De Beer（1960）p. 238］“科学永不交战”。反映了存在于伦敦皇家学会和法国国家研究院（代替以前的巴黎皇家科学院的科学团体）成员之间的合作精神。

“伦敦皇家学会主席约瑟夫·班克斯爵士：

法国国家研究院认为远方探险对人类知识的发展是有用的，不容迟缓。我国政府已批准其申请，并立即签署命令从速筹备由熟练的航海家和著名科学家领导的探险队，将向贵国政府申请我国船舶必要的护照或通行证。国家研究院认为正是在世界为战争所累时人权之友应为科学而工作，用冒险精神推进科学和工艺的水平，这种精神使我们两国踏遍大海陆地研究自然的伟大航海家和杰出的科学家永垂不朽，爵士，他们会为此取得伟大成绩。”

信的后面请求班克斯协助办理护照。在这封信签名的有著名的儒

西奥、加缪、拉普拉斯、布下维尔、弗洛留、迪泰伊和拉塞帕德。

1803年5月"博物学家"号从伊尔德法兰西回国时遇到英国军舰，因怀疑阿麦兰的护照，将他扣留了10天。随后班克斯爵士证明了阿麦兰的身份，英国海军部才放了他。在杰克孙港金总督不仅给法国探险队发放通行证，还从年轻的殖民地的有限的资源中给了殷勤的接待。

投桃报李。1803年英法两国间又开战时，马修·弗林德斯到了伊尔德法兰西，他只带着"调查者"号的护照，没带"坎伯兰"号的护照，不能出海回国，被德康总督扣留，法国国家研究院努力奔走，使他得以释放。

路易·德·弗雷辛奈组织的1817—1820年"天王星"号探险队

拿破仑战争结束后，英国人对寻找太平洋和大西洋之间的北方通道更感兴趣，法国人又开始注意大洋洲和南大洋。复辟波旁王朝的路易十八支持这方面的探险。法兰西帝国这时大大衰弱了，它不再拥有伊尔德法兰西，这个岛于1814年让给了英国人，英国人又从荷兰人手中占领了开普敦。路易·德·梭尔斯·德·弗雷辛奈在38岁时指挥20门炮、载重量310吨的帆舰"天王星"号探险太平洋。他享有测绘学、制图学、航海专家的盛誉，而且是国家研究院中已恢复的科学院的客座研究人员。

地球的精确形状是怎样的

弗雷辛奈探险的目的与包丹不同，地理发现并不那么重要，这时太平洋的地图几乎完整了。而科学家还有很多尚待解答的问题，例如不同地区磁场强度的变化、大气温度与气压的比较、地球的实际形状等。已经知道地球并不是理想的球形，这正是18世纪末以前西班牙在马拉斯皮纳领导下的探险的目的之一，有一种理论说地球的南半球比北半球可能扁一点。用振动摆的实验证明这一理论也是这个航次的

一个课题。重力的绝对测定需要很高的精确度，可以测量在给定时间内两个地点各次摆的摆动作比较，由其差求出重力场的差。随地球半径减小，重力微微增大。

在海上法国海军军官当了科学家

弗雷辛奈探险的所有科学工作都是海军军官做的，“天王星”号上没有民职科学家，选出对科学特别感兴趣的军官，于出航前在巴黎自然博物馆学习9个月。弗雷辛奈对包丹探险队用不可避免的严格的海上航程的纪律约束民职科学家的困难记忆犹新。选了胜任研究动物和植物的医生和药剂师。除了牧师外，船上仅有的老百姓是艺术家雅克·亚拉果，他是天文学家弗朗索瓦·亚拉果的兄弟，他在法国19世纪此次和以后的历次考察中都是拟定物理科学研究大纲的主要人物。

考察的目的之一是利用摆做实验，预先选定停留地点以提供数据，另一目的是为博物馆采集标本，选定地点有里约热内卢、好望角、毛里求斯（伊尔德法兰西）和杰克孙港。“天王星”号还在今印度西伊里安附近的卫古岛和拉瓦克岛屿呆了一段时间，那里离赤道只有1.5°（图2.6）。

弗雷辛奈的探险队1818年9月12日到达西澳大利亚海岸的鲨湾。跟“地理学家”号在那里停留时弗朗索瓦·庇隆遭遇的一样，他们又热又渴。两名做科研工作的军官在干燥、没有地貌特征的地方迷失了方向而失踪了。探险队从鲨湾开赴帝汶，沿途停靠了荷兰港口古邦和葡萄牙港口帝力。在停靠帝汶、拉瓦克和卫古之后，热病、痢疾和坏血病在船员中流行。再往北到了马里亚纳群岛的西班牙殖民地关岛他们才得救了，慷慨的麦地尼亚总督款待这些法国人在岸上住了两个月。弗雷辛奈写道：“在我们整个停留期间，船员一直感谢他的无限仁慈和善心”。“天王星”号的军官在岛上安装了观测站，做了地磁和潮汐测量。病号在监狱医院恢复了健康并为他们下一阶段向东到夏威夷群岛的航行养足了精力。

“天王星”号1819年11月13日沿图2.7所画出的航线到达澳大



图2.6 "天王星"号锚泊在拉瓦克岛的避风港内，就在赤道边上，背景是卫吉岛的群山。小艇带来做生意的人，大部分是从邻近的新几内亚（西伊里安）来的卷发的巴布亚人，近处是从马鲁古群岛来访问的穆斯林家庭。[Freycinet (1824—1844)]

利亚东岸，这并不是最直的航线，因为"天王星"号按弗雷辛奈的意见测定地磁赤道。他们得到拉克兰·马夸里总督的款待，在岸上居住。但是指挥官在这个囚犯殖民地的第一晚受到小偷的光顾，丢了家用银器、桌布和仆人的衣服，使总督很困窘。虽然小偷被逮住了，但银器却被熔化了。"天王星"号于1819年圣诞节开回好望角，后来才发现，船上还载有10名偷渡的囚犯，其中有一名法国逃犯，他的处境得到他的同胞的同情。

每隔两小时的海面温度测量

"天王星"号上的海军军官任务之一是收集海面温度数据，在整个航次每隔2个小时测量1次大气和海洋温度。正像天文学家弗朗索瓦·亚拉果给科学院写的报告中所说："从它惊人的准确和覆盖的广

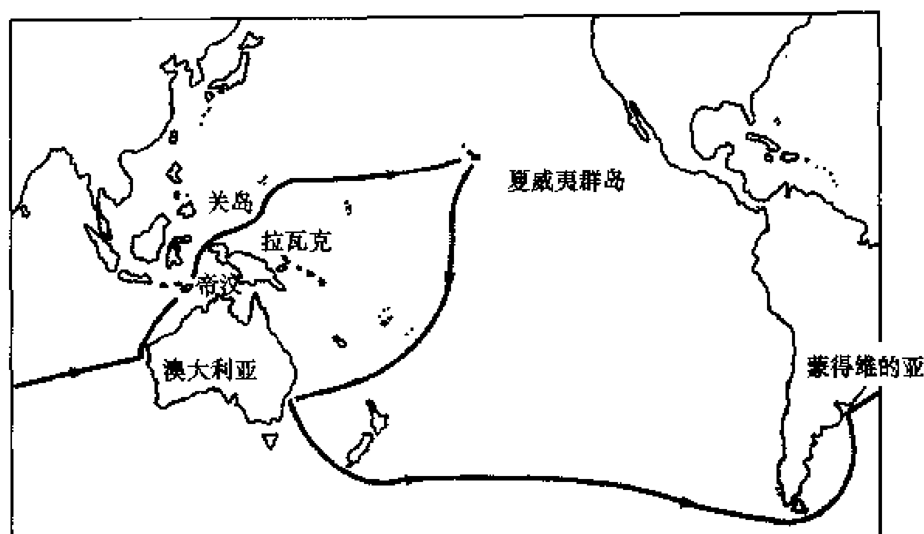


图 2.7 1817—1820 年路易·德·弗雷辛奈指挥的法国帆舰“天王星”号在南大洋的航线，曾在非常靠近赤道的卫古岛测量地磁，1818 年 9 月靠鲨湾，1819 年 11 月泊杰克孙港。

度来看都是重要的成果”。此外从各处采集的 55 瓶海水供化学分析所用。瑞士化学家亚历山大·马塞特测量了他分析的海洋样品的盐度，赤道以南的平均值比赤道以北高。难道南半球的水比北半球咸吗？这只是处于好奇而提出的众多待解释的问题中的一个。“天王星”号带回的水样为法国物理学家提供了研究课题的新鲜材料。

历史数值的源泉

“天王星”号获得的两小时间隔海面温度读数的浩大数据集中在弗雷辛奈编的《探险官方报告》气象卷（1844 年）公布，这是澳大利亚海域最早的数据。正像冰核和树的年轮可作为研究世纪气候变化之用一样，这些记录了 19 世纪海面温度观测值的报告也可供后世研究。从数据中选绘出有意义的 1819 年 12 月塔斯曼海海面温度数据集与 1967—1976 年 10 年平均相比较，除悉尼以南海域外，1819 年温度显著低于现代平均温度，可能这是“天王星”号在南纬 39°附近跨过亚热带辐合带的缘故。

亚热带和南极辐合带

在环绕地球名为亚热带辐合带的海洋界面处，亚南极海面水遇到较暖的亚热带海水产生下沉，继续在深层向赤道运动，它是一种比我们后面要提到的更接近极点的南极辐合带（第四章）变化更大的界面。在亚热带辐合带以南有冷亚南极海面水，产生海面温度沿北南方向剧烈下降，这种不同特性的海水间的海域叫锻锋。乔治·迪肯绘出了亚热带辐合带的大致位置（图2.8）。

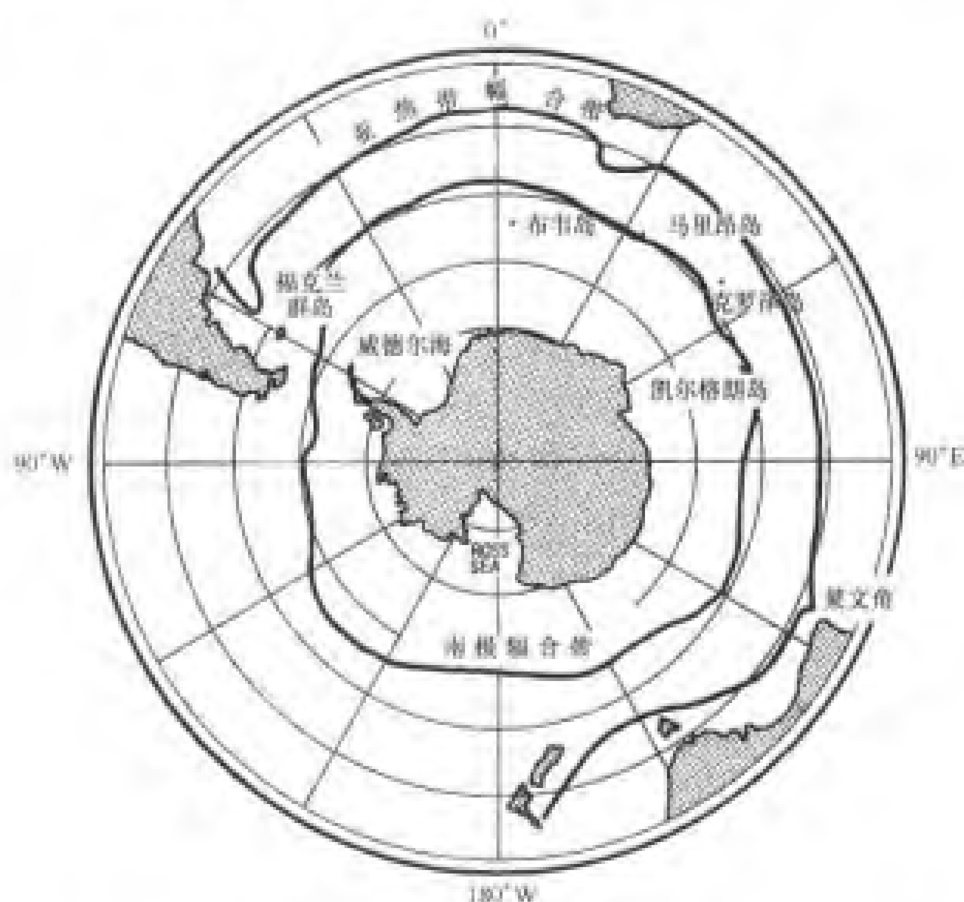


图2.8 乔治·迪肯爵士绘的亚热带和南极辐合带（1934）表示大部分保持其温度和盐度特性的冷海面水下沉向赤道运动的海域。

根据迪肯记录，在亚热带辐合带海面水温下降了4℃，在

14～18℃之间。“天王星”号没有记录跨过亚热带辐合带的过程，在19世纪的第一个25年里还不认识深海环流，但是已提出在温暖的热带海域下面发现的冷水的来源问题。世纪之交本杰明·汤普孙，拉姆福德公爵提出在高纬度较冷的（较密的）海水，因其比重大于较低纬度的同深度的水，会在海面以下流向赤道。亚历山大·冯洪堡支持这个理论。

在这个海域位于南纬45°附近的亚热带辐合带是否有可能在1819年夏季向北移到南纬39°？根据迪肯给出的辐合带位置，“天王星”号航线应在南纬45°与它相交，而在那个纬度“天王星”号测出的海面温度比迪肯提出的夏季温度低得多，4℃锋面似乎在南纬39°以北很远就应遇到（图2.9）。

“天王星”号船上的状况

不像他的前辈指挥官拉彼鲁兹、当特尔卡斯托和包丹，弗雷辛奈度过3年探险的险境，这次探险也并非没有付出生命代价。在热带海域停留时，痢疾夺去4个人的生命，疟疾2人，很多人患上这两种疾病，尽管用了铁水桶，并且改进了伙食，不少人还是得了坏血病。弗雷辛奈带了罐头肉和咸肉，还第一次在船上带了家畜，以增进健康。在帝汶他放宽规定，带上300只家禽和几头水牛，还有它们的饲料玉米。布干维尔和库克已试验过蒸馏器，包丹把它简化了，弗雷辛奈在鲨湾没有淡水的停泊地用了9天。法国人在这片干燥的土地上几乎找不到人，他们甚至认为遇到的少量土著人必定是喝咸水的。其后1个月这支船队只有蒸馏水喝，而指挥官喝了3个月，他认为比从帝汶装上的天然水还好。蒸馏水当然更有利于健康。但是蒸馏器在木船上有着火的危险。

在福克兰群岛沉没

“天王星”号在归途沉没于福克兰群岛（阿根廷宣称是其领土，

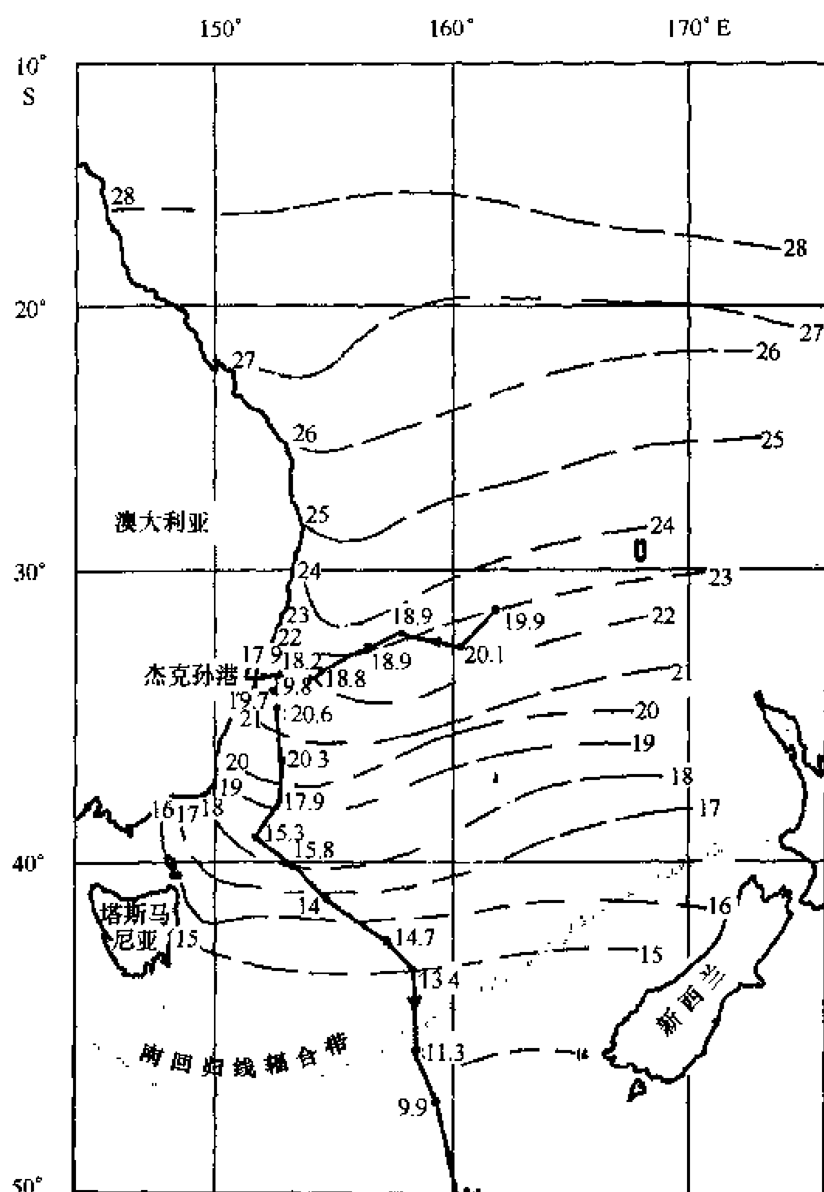


图 2.9 弗雷辛奈 1819 年 11～12 月探险途中所绘海面温度，用实线表示穿过塔斯曼海的航线，用虚线表示 12 月份平均温度，亚热带辐合带位置是迪肯 1963 年所绘。[引自 Jones&Jones（1980）]

并命名为马尔维纳斯群岛）未标出的岩礁，没有人员损失，但是严重地损坏了博物标本和图件。船上的大多数澳大利亚负鼠、黑天鹅、鸸鹋、鹦鹉和金刚鹦鹉都冻死了。约翰·麦克阿瑟赠予的一对美利奴绵羊中的一头活得比较好，人们不禁要问偷渡的囚犯有没有考虑生还的希望有多少？法国人在帐篷里过了两个月，捕食企鹅、海象和野马以

节约食物，经过长期的谈判，从路过的美国商人手里买了替换的船。"天王星"号的木匠和铁匠把不宜航海的不能抵御好望角附近的狂浪的廉价船舶装修了一遍。坐着这艘改名为"物理学家"号的船，在阔别3年零57天之后的1820年11月13日回到勒阿弗尔。人员损失比此前的海上探险少，只有7名，38名离船，15名自己辞职下船，2名因病留在中途［Brosse（1983）］。

"天王星"号探险队各方面成就的公布是经政府批准的，经历了1824—1844年相当长的时间。弗朗索瓦·阿拉果对拖延公布科学调查成果的做法提出批评。但是4本地图中的图的质量是突出的，引起读者注意南大洋。弗雷辛奈在气象学卷（1844）分析了大气和海洋温度数据，并与庇隆的数据相对照，大部分是相符的，他的两小时间隔数据足以证实庇隆所说的在午夜开阔海洋海面温度高于上覆大气温度，而且更加精确了。

> 在午前2时、4时、6时、8时，午后4时、6时、8时、10时和午夜大气温度一般低于海水温度，而且大气日平均温度低于海水日平均温度。
>
> 午前10时、正午和午后2时大气温度一般高于海水温度，而且大气最高温度高于海水。

弗雷辛奈夫人

"天王星"号探险队的一个异乎寻常的特点是指挥官的夫人露斯上船，这是违反法国海军规定的，弗雷辛奈因此面临军事审判。露斯做了坚决的决定，她改扮成少年，偷渡上"天王星"号。她是位有高尚教养和受过很好教育的巴黎人，结婚3年没有生孩子，对跟随丈夫执行这次危险使命并非没有疑虑：

> 我承认我万分恐惧。一想到海就令我害怕；我非常需要

支配风浪的上帝鼓起我的勇气。我连在马赛港中间坐小船都浑身发抖，当我看到只有天和水以及刮起风暴的天气的时候是多么害怕海洋啊！

露斯不需要一直欺骗下去。一离开法国，她的丈夫就能够为她上船负责。恢复红妆的露斯以她的端庄的举止为船员所接受，每个停靠港的夫人们都热情地接待她，例如1819年在新南威尔士悉尼港。从她写给母亲的信和日记中可以看到若干官方报告中不会涉及的这次漫长的科学和发现之旅和一些花絮。帝汶的葡萄牙总督送给她4个儿童奴隶时，她困惑了，仅出于礼貌和害怕报复才同意收下1个男孩。罐头作为对单调菜谱的调剂常常得到她的赞赏。她也关心船用蒸馏器，在一次烟囱冒火烧着船艏桥部，在指导船员正确使用时，她丈夫路易的手烫着了。

露斯在停靠干燥的鲨湾之后给母亲写信，她这样描写登陆后第一个印象的混合感情：

"我离开新荷兰海岸那个地球上的地狱一点也不遗憾。你不会相信，我讨厌的地方很快变成我的最爱；我们到晚上6点钟以前出不了鲨湾了，虽然我们已经离岸很远，还不断地测量深度，海水突然浅了，船触到沙滩。我没法告诉你船搁浅突然不能动时的感受。呜呼！我总在想着探险家注定在世界某个部分触礁的可怕的预言，我看过'天王星'号修缮前的可怜相，我们对悲惨命运的想象排之不去。"

引自克劳德·德·弗雷辛奈男爵收藏肖像的版画。

露斯像女英雄一样回到法国，经历了她可怕的沉船现实，"天王星"号在阴冷的福克兰群岛沉没。她虽然逃过了热带致命的疾病，但却以37岁芳龄在巴黎死于霍乱流行。她的丈夫路易熬过了瘟疫，他在1842年逝世前忙于出版探险报告。露斯的日记生前没有出版，1927年由夏勒·迪普隆编辑并在巴黎出版，书中有"天王星"号艺

术家对一些场景的插图。对英文读者，玛尼·巴塞特在她所著的《王国和群岛》一书里生动地说了这个故事，也摘了这一段（图2.10）。



图2.10　路易和露斯·德·弗雷辛奈像，他们1817—1820年在法国帆舰"天王星"号上一起作环球科学航行。露斯在土伦偷偷上船，这是违反法国海军关于女人不准上皇家舰船规定的。

1823—1825 年迪波雷在"贝壳"号探险

"天王星"号环球航行时路易·伊西多尔·迪波雷中尉负责水文工作，回法国后他致力于出版附在报告之后的地图集。由于他工作出色，擢升为后一次法国"贝壳"号探险队的指挥官，分派经过合恩角考察曾随弗雷辛奈航行过的太平洋同一个海域。这次探险的首要任务是科学考察，其次才是地理发现。另有一项政治目的是为法国在澳大利亚西部确定一块囚犯流放地，曾提出过三个地方：乔治王湾、莱文角附近的弗林德斯湾和斯万河。

路易·伊西多尔·迪波雷那时 35 岁，在上"天王星"号探险之前在海军干过不少事，还写了不少有关探险和科学考察方面的报告。在"贝壳"号与他一起当中尉的还有迪蒙·迪维尔，1821 年曾一起在"小山羊"号东印度群岛航次中当过下级军官。迪蒙·迪维尔继续他在自然科学方面的探索，他曾在巴黎自然博物馆学过植物学课程。在船上的 70 人中，有 6 名军官和 2 名士兵掌握实验技能，其中也没有民职的科学家。

选作这次探险之用的"贝壳"号是载重量 380 吨改装成帆舰的运输船，此次专门改装供科考所用。探险队 1823 年 8 月从土伦扬帆出海，其航程为环绕澳大利亚，停靠新爱尔兰、卫古岛、安汶岛北方，但在澳大利亚大陆唯一的一次登陆是在悉尼，历时两个月。他们在布里斯班受到有科学头脑的总督的热烈欢迎，他在杰克孙港内陆 20 千米的官邸帕拉马塔建立观象台，在新南威士各处建立了几座气象站。

当迪波雷从帝汶向南走时，被逆风吹离原来计划要建法国流放地的西澳大利亚。此前当特尔卡斯托也想从帝汶去鲨湾，也被逆风、逆流迫使放弃计划。法国"贝壳"号探险队建立流放地的政治目的尽管没有达到，但 1825 年 8 月 22 日乔治·居维叶在报告中却把探险中所做的科学研究夸成典范。

用摆测重力变化又成了法国探险队的科学课题之一，也是气象实验之一，"贝壳"号的军官保持每日 4 次的海面和大气（摄氏）温度

的系统记录。他们1824年1月向北向悉尼航行中的记录证明在南纬46°附近存在的亚热带辐合带。

东澳大利亚海流

Jones and Jones（1980）“贝壳”号测量结果绘出1824年还不太清楚的另一种海洋学现象，詹姆斯·库克曾指出此南向流沿东南澳大利亚海岸流动，我们现在知道这支海流在悉尼以北很近处偏离海岸，流向新西兰。赤道海域暖水随之而来。“贝壳”号的海面温度断面表示出有约100千米的锋面，使船产生东北向的偏航。这正是船舶跨过东澳大利亚海流航向新西兰时会遇见的。由力的平衡产生垂直于密度（温度）梯度的这种海流，正像天气图上产生垂直于气压梯度的风一样，我们可以发现南半球有东向流，船向赤道航行，遇见水温增加时，会向东偏航。

迪波雷探险（1829）官方报告水文卷中所公布的统计数据包含系统观测的途径地海流，用每小时海里表示，这是法国太平洋考察中首次公布由船的偏航观测到的海流。在此后几年中迪波雷对分析其他船舶测得的海面温度和海面流速记录特别感兴趣。他的观测记录编入1837年波茨坦的海因里希·柏格豪斯的《首次太平洋物理特性图集》中，又一次表示该大洋海面环流缓慢混合的图像。

光透射的观测

“甲壳”号上的海洋学工作包括潮汐观测和水透明度实验。天气晴朗时，用漆成白色的直径为0.66米的盘放置水下，上系有重物，保持其水平，记录盘从视线中消失的深度，实验在不同纬度进行，每天几次，发现能见度显著地变化。同样的实验在俄罗斯的考察中也做过（见第三章），这种观测逐步标准化。这种早年的透明度盘实验可以达到10%的总精确度。在杰克孙港，迪波雷观察到实验盘在12米深处看不到，在新西兰的群岛湾实验的平均值为11米。现在知道透

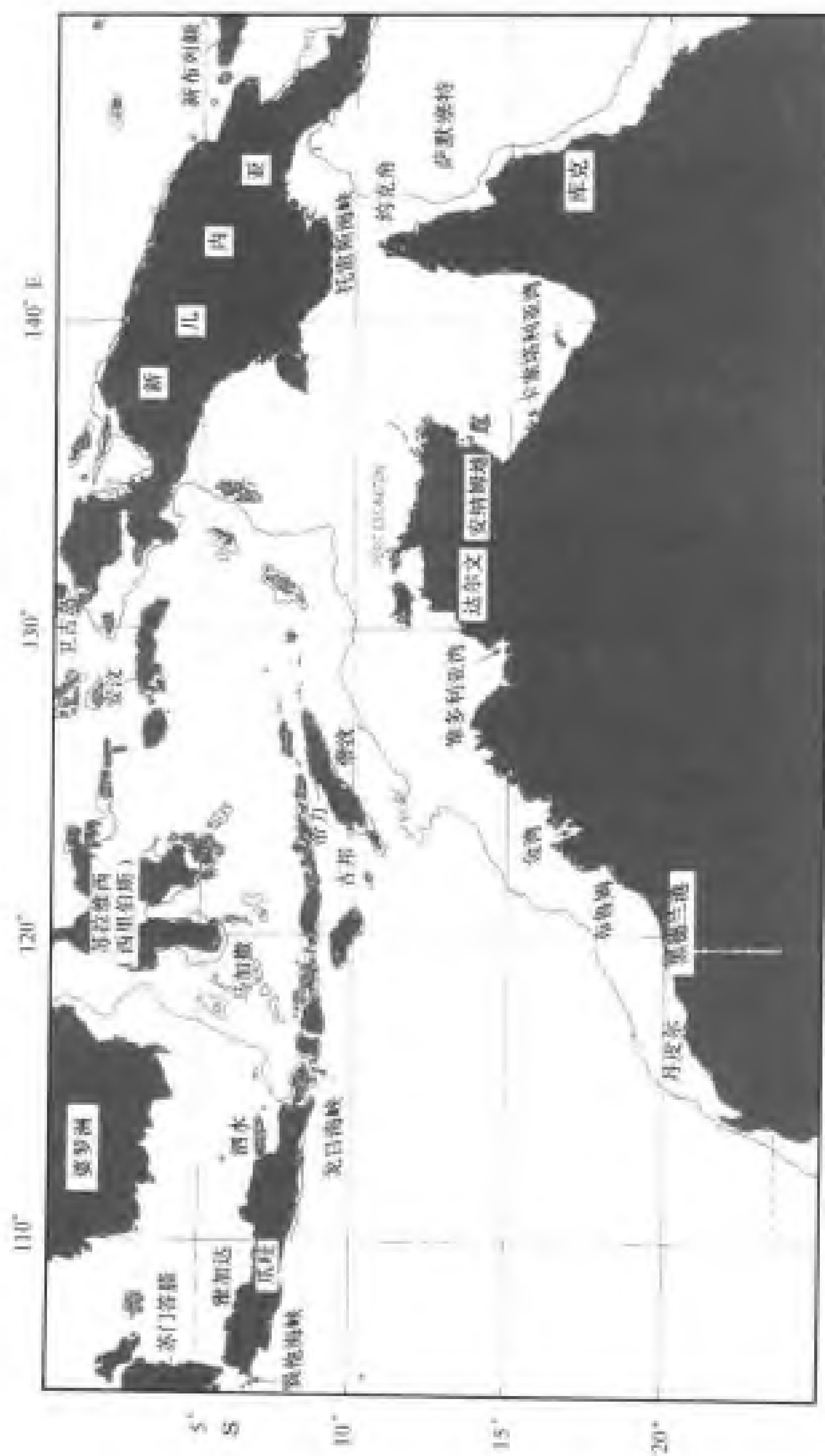


图2.11 18世纪和19世纪印尼群岛香料群岛荷兰殖民地常常为来访的欧洲探险队提供医疗、补给和检修

明度能在1~6米范围内变化，与透光层的厚度关系很密切。

1825年3月24日迪波雷探险队在历经两年7个月的环球航行后踏上归程，没有遇险，也没有付出生命代价，并取得了显著成绩。后来迪波雷在1830年前一直在写探险记。他一直在科学院中研究物理地理学和地磁学，卓有成效，1850年荣任院长。

雅辛特·德·布干维尔1824—1826年在太平洋的探险

19世纪早期，法国在太平洋的另一次探险是由雅辛特·德·布干维尔担任领队，法国政府明显是为政治目的而派遣的，但领导这个海上探险队一直是布干维尔的志向，他渴望踏着父亲——著名的路易·德·布干维尔公爵的脚印前进，这位老父亲领导了第一次法国环球航行，1768年为法国提出对塔希提的主权要求。

雅辛特·德·布干维尔在18岁时参加包丹的探险队当了水手，25年后的拿破仑战争后，他领导的“特提斯”号帆船被派往交趾支那重修在欧洲战后中断的外交关系，取得贸易口岸。布干维尔奉命开往好望角、波旁岛、本地治里、马尼拉和澳门，在访问爪哇后，没有限定返程航线，很自然地他选择了乃父的环球航线。1825年6月25日他到达杰克孙港，停留了3个月，他认为是从在包丹领导下出海以来从未有过的愉快时光，在植物学湾入口取得一块租界地，请艺术家建立一座拉彼鲁兹的纪念碑，那里是这位不幸的探险家在太平洋失踪前的最后一个锚地。

科学成就

虽然“特提斯”号和其姊妹舰“希望”号没有布干维尔先辈的舰船那样有很好的科学队伍，但还是采集了重要的博物标本，在海上系统地观测了海面、大气温度和海流。与庇隆一样在上午6时，正午、下午6时、午夜测量，温度用列氏度数表示。尽管布干维尔测海面温度时把水从海面用桶舀到船上，并立即把温度计投入桶内，但在

悉尼以南塔斯曼海记录的海面温度观测数据围绕日平均值还是有很大起伏，在这个海域不应有这么大的变化，可能是粗心，在测量温度前让水在日光下暴晒了一段时间的结果。

这次探险历时两年3个月，1826年6月24日在布列斯特结束。迪波雷和布干维尔到澳大利亚访问的一个结果，是英国政府所做的翻版，也像20年左右前包丹在塔斯马尼亚的霍巴特所做的一样，在澳大利亚建立了流放地。

“罗盘”号和“天文台”号在太平洋失踪了几乎40年了，而仍有人继续关心拉彼鲁兹和他同事的命运，还能有生还者吗？后来到太平洋的探险队都在寻找答案。最后轮到下一个法国迪蒙·迪维尔南大洋探险队来解决谜团了，我们想在回来叙述寻找拉彼鲁兹的故事之前先说说另一个欧洲强国俄罗斯帝国的太平洋科学考察。

第三章 欧洲人的好奇心

在18世纪和19世纪，欧洲的学术机构是由各国的学者组成的，其中一些人对海洋科学颇感兴趣。尽管欧洲各王国的世袭君主和僭位的国王间连年交战，可是学者和他们的学术思想却能自由地在欧洲交流。我们看到欧洲的科学研究中心能说服政府在海军远征中提供研究海洋的条件。科学家自愿地登上外国舰船。例如德裔的福斯特参加库克的远航，波希米亚的汉克跟着马拉斯皮纳航行，苏黎世的天文学家J. K. 霍纳、莱比锡的博物学家W. G. 冯·蒂勒修斯、德国格丁根的G. H. 兰兹多夫跟着克鲁森斯特恩参加俄国海军19世纪首次太平洋远航。最早的物理海洋学家之一，德国物理学家爱弥尔·冯·楞次当时还是年轻人，1823—1826年参加了科策布埃领导的探险。

1808—1830年在俄国太平洋商船上进行的科学研究

19世纪初，西欧正处于法国扩张主义的压力下，这时俄国继续在北太平洋进行贸易。横跨大陆路线经过鄂霍次克海到遥远的勘察加、阿留申群岛和美洲西北沿岸的岛屿的商站，既远又险。俄国美洲公司的商人在亚历山大一世沙皇和俄国海军的支持下，开辟了通往勘察加和北太平洋的海路。虽然这条环球航线需历时几载，但附带着从北太平洋阿留申商堡猎取的非常珍贵的貂皮贩往中国却获利不菲。

俄国第一次环球航行由I. F. 克鲁森斯特恩和Y. F. 李襄斯基领导，乘载重量450吨的“希望”号和载重量370吨的“涅瓦”号，是1803年至1806年进行的。这次远航的航海先人将探险、运输、作战和发展天文学、水文学、博物学融为一体，被任命为船长的克鲁森斯

特恩建议从德国大学中聘请科学家和博物学家。爱好科学艺术的商务部长罗蒙佐夫公爵，给他以支持。宫廷中有不少波罗的海德裔军官深谙航海专业，像克鲁森斯特恩和李襄斯基，以及之后的哈革迈斯特和拉扎列夫都在英国海军实习过，很熟悉詹姆斯·库克在太平洋探险中的成就以及对东印度和中国贸易的价值。詹姆斯·特莱文宁上尉曾参加库克的第三航次，取得航海资格。“希望”号带着俄国大使和官员赴当时日本唯一向欧洲开放的港口长崎，但没有被接受，后来只得自己回圣彼得堡。

西克斯极大极小温度计

1803—1806年俄国探险队乘英国制造的船从喀琅施塔得出航。船上装有最好的海图和仪器，包括从伦敦买来的计时器。这是欧洲海上科学考察第一次使用英国1780年詹姆斯·西克斯发明的自记极大极小温度计，1794年才供海上使用。图3.1示西克斯设计的原始的自记温度计，有密封的U形管，弯曲部充以汞，膨胀的酒精由储器充满管的一支，管的另一支酒精仅注入一部分。装在玻璃管内的轻的钢针标记指出酒精的位置，储器中的酒精随温度升高而膨胀时，一个标记被上升的汞柱推向上，汞柱回落时，玻璃“尾巴”像弹簧一样托住标记不使下落，于是它在管中的位置标记了测得的极大温度。温度下降时，在另一管内，汞柱向U形管回缩，推标记向上，它的位置表示测出的极小温度。使用后可用磁铁把指示汞柱极限位置的标记复原。

西克斯温度计已证明在陆上气象测量中非常有用，这次加厚了玻璃，改进了指针和机构而成海洋用型［McConnell（1980）］，在环球航行中首次用于海洋。历经多次改进，它在19世纪70年代还用以记录海面以下的温度，后来由“颠倒温度计”代替。

克鲁森斯特恩探险中，俄国人同时用了西克斯温度计和一种黑尔水桶测量最深达125英寻的不同深度的水下温度，结果并不总是重合的；同时还发现必须小心地操作温度计，防止指针晃动或移位。航次中还记录了海流和潮位，测试了海水的比重。若干年后，克鲁森斯特

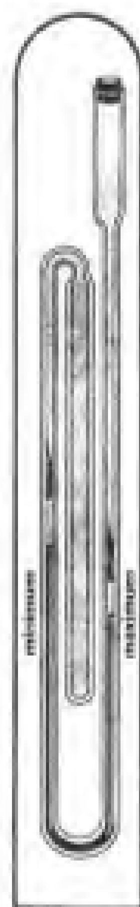


图 3.1　1782 年詹姆斯·西克斯设计的原始极大极小温度计草图。19 世纪用于测量水下温度，首次用于 1803—1806 年克鲁森斯特因探险队。[McConnell（1980）复制]

恩当上海军学院院长、圣彼得堡科学院院士、海军部科学委员会委员，有能力促成继续在俄国舰船远航中进行科学工作。1824 年和 1827 年他分两部分出版太平洋地图，在说明中有对东澳大利亚海流和黑潮的原始的叙述。

克鲁森斯特恩的环球远航证明了俄国海军能成功地进行英、法规模的，包含科学考察在内的探险，而且他带着他的船员平安归来。像以前的拉彼鲁兹一样，为预防失事，事先从勘察加的彼得罗巴甫洛夫斯克把初步报告、海图和图集由陆路送回，而他的船平安回到喀琅施塔得。克鲁森斯特恩写了“希望”号的航行记录，而李襄斯基出版了“涅瓦”号的航次报告，两者有若干处不同，冯·蒂勒修斯和卡尔·

海因里希·冯·朗斯多夫两位博物学家都出版了他们的科学著作。

俄国的太平洋探险

克鲁森斯特恩在他的著名的航次中绕过合恩角，经过马克萨斯和夏威夷群岛进入北太平洋，从中国回去时，他经过巽他海峡通过荷属东印度，再经过好望角和大西洋回国。1806 年 11 月“涅瓦”号再度奉派出航赴北太平洋殖民地，选择好望角和新荷兰航线，这条航线比较远，主要是因为季节太晚，冬季过合恩角危险才选择此线，后来一些俄国航海家在同一季节也走这条航线。“涅瓦”号船长哈革迈斯特上尉发现英国殖民地悉尼是非常合适和友好的港口，港口有很好的供应水、薪柴、新鲜食品的设施，还能在港里维修舰船。

在拿破仑战争后期，英国人封锁了北美航线，俄国船不能离开喀琅施塔得，到北太平洋殖民地又得横跨大陆路线。1813 年 10 月拿破仑从莫斯科败退时，俄国制造的军舰“苏沃洛夫”号在米哈伊尔·拉扎列夫指挥下，再度经过开普敦和悉尼驶进太平洋。1814 年 8 月悉尼热情接待了“苏沃洛夫”号，因为他们从驻里约热内卢的英国大使处带来拿破仑败亡和俄罗斯人、普鲁士人进入巴黎的消息。“苏沃洛夫”号停泊在杰克孙港内的中间湾堵漏和维修，在本尼朗角陆上建立观测站，用以校核计时器和其他仪器。拉扎列夫在“苏沃洛夫”号越过太平洋时没有做海洋观测，因为它只是海军的巡航。

在 19 世纪的上半叶俄国进行了 36 次环球航行，都以北太平洋定居点作为其终点，目的除贸易和运输外，还同时进行地理和科学考察。他们所做的最有名的两次海洋研究工作是奥托·冯·科策布埃领导的 1815—1818 年间“鲁瑞克”号上的第一次，和 1823—1826 年间在“企业”号上的第二次。

“鲁瑞克”号环球航行是当政的俄国首相罗曼佐夫公爵热心促成的，他自己出资建造 180 吨的帆船，船上装有专用于考察和科学研究的活动的龙骨 [Barratt (1983) p. 33]。该船重要的地理学目的是寻找北方大西洋与太平洋之间的通道。指挥权交给了科策布埃上尉，他

曾跟克鲁森斯特恩一起在“希望”号上出海，克氏做了探险计划。两位世界知名的学者，年轻的爱沙尼亚医生弗雷德里希·埃肖尔茨和曾在柏林上学的亚德尔伯特·冯·查米索当了航次的博物学家。这艘小方帆双桅船上有3名博物学家，1名艺术家，仅有32名船员，科策布埃用英国制西克斯温度计在24英尺至2448英尺（746米）深度得到了116个水下温度记录。温度计装在有格栅的木盒内以防碰破。仪器固定在测深缆重锤以上约6米处［Prestwich（1871）］，下沉需要6分钟或8分钟。在这一开创性工作中，困难在于指示极大极小温度的标记。这次探险没有找到横过北冰洋的通道，但是得到的海洋观测却很有价值。我们在本章后还要介绍这些数据30年后成功地为德国物理学家爱弥尔·冯·楞次用来构成大洋深水水体运动模型。

“鲁瑞克”号环球航行经过合恩角和好望角。1819年俄罗斯决定派4艘船分成两个探险队进入太平洋，两艘到北极，两艘到南极，“东方”号和“世界”号绕过合恩角，“开创”号和“善良”号向东绕过好望角。4艘船都把悉尼当做补给和维修港。“东方”号和“世界”号在深入合恩角以南流冰海域时受损，需要认真地修理。1820年两船修理历时1个月以上，船上的军官和博物学家都受到了款待，这时英俄之间关系很热。

法比安·别林斯高晋和米哈伊尔·拉扎列夫“东方”号和“世界”号南极探险在地理学上非常重要。他们在十分危险和困难的条件下沿与库克相反的方向穿过南极海域，1820年1月和1820年12月两次路过南极圈。1月，在南纬67°在雾中看到的陆地应该是南极大陆。同年12月从塔斯马尼亚向南航行时，他们发现了南极圈内的陆地，命名为亚历山大一世地，认为可能是大陆的一部分，后来证明是岛屿。

对别林斯高晋探险的指示要求他观测潮汐、风向、大气情况和海流以及不同部分和深度的“海水温度……其盐度，还要测量特定探度的温度”［Bellingshausen（Hakluyt 1945）］。这些数据可能至今仍是有用的。

我们说过在19世纪上半叶的36次太平洋远航，俄罗斯取得了可

观的太平洋有关数据，对绘出的海图很有帮助。获得的海洋特征信息用于制定航海指南和物理图，甚至俄国以外的制图专家像德国伯格豪斯（图 3.2）和英国的芬莱也深受其益。

1823—1826 年奥托·冯·科策布埃在“企业”号上的太平洋探险第二阶段值得大书特书。船上有爱弥尔·冯·楞次，他是一个有希望的年轻学生，他的物理学教授 G. F. 帕罗特推荐他出海，与指挥官合作，在“鲁瑞克”号达到的更深处进行温度、盐度测量，这成为我们在本章后要说的海洋动力学的重要理论的基础。

19 世纪的第二个 25 年，在太平洋没有重大的地理发现，但是英国和法国海军仍继续派探险队去南大洋。先进的地理学知识与能得到战略性的殖民地和商站等重要的回报，成为派遣雄心勃勃的海洋探险队到远方海域去的动力。随后的商业活动满足了在捕鲸船、商船和传教船“悬旗”方面更大的需求。为更安全地航行，海况研究和港口、岸线测绘都是必要的，列强的海军都训练其军官做这个工作。学术团体则继续对课题和技术提出建议和指导。海军天文学家、水文学家和医生采集科研数据和博物标本的技能已很娴熟，1825—1850 年间对太平洋表面海流的描述、温度的深度变化的测量、深海循环对温度变化的影响等都有很大进步。当时大部分海军军官不熟悉物理学的最新实验技术，如果在探险队中像楞次这样的海洋物理学专家多一些，成绩还会大一些。尽管如此，今天我们还得称赞他们用当时仅有的简陋技术观测数据所需要的决心、勇气和探险精神。从迪蒙·迪维尔的名言（1833，p67～68）中可以看出那个时代的精神：革命、政见转瞬即逝，而科学的事实常在，并铭记发现事实的那些人。他们是世代建立的里程碑，他们同时证明人的精神是不断进步的。这是一位对科学有宽广兴趣的海军军官的情操，他在 19 世纪的第二个 25 年到南大洋远航 3 次，其中两次是他亲自指挥的。

迪蒙·迪维尔的深海考察

1826—1829 年间儒勒·迪蒙·迪维尔指挥法国轻巡航舰“星盘”

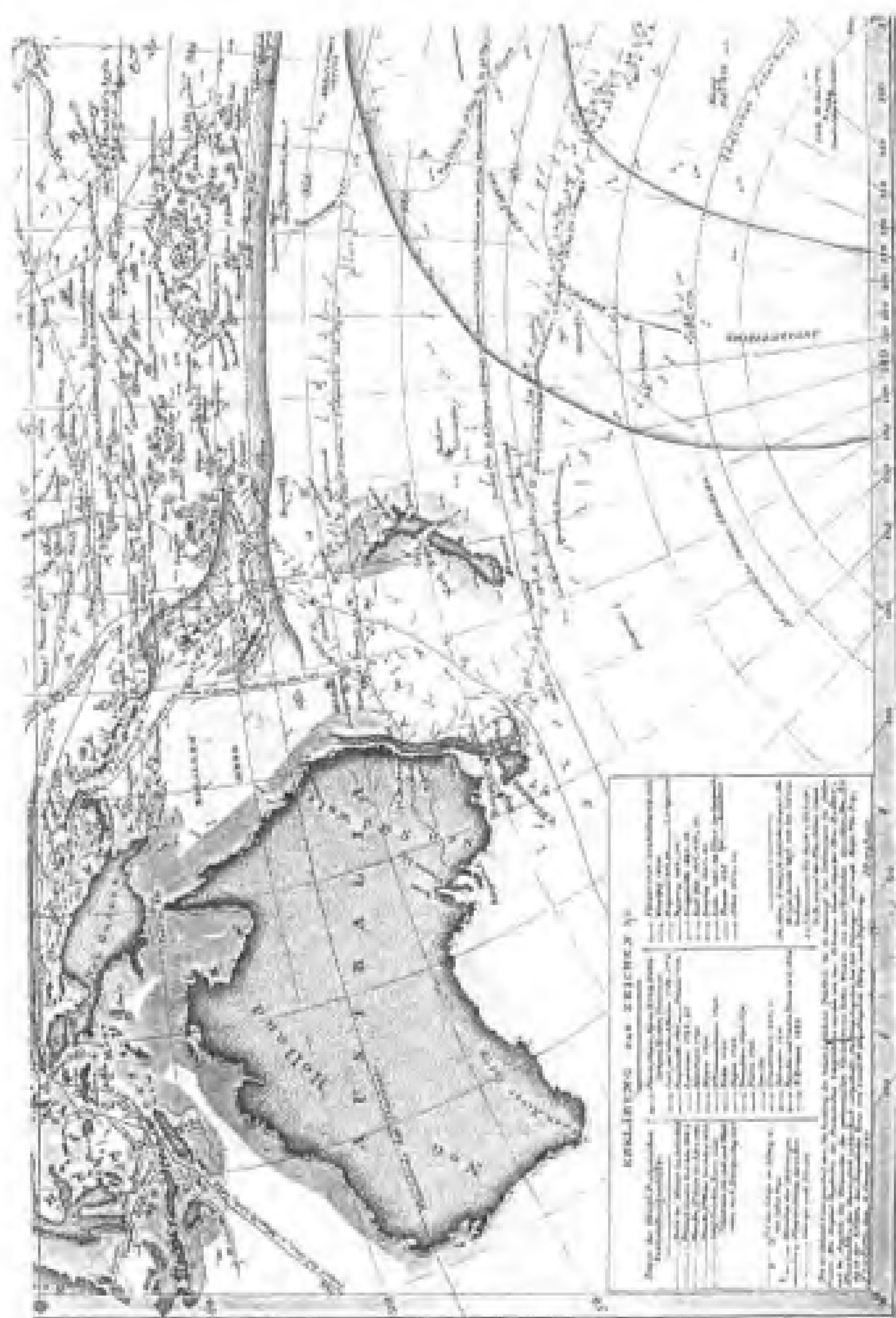


图3.2 1837年伯格豪斯的太平洋物理图的一部分。这幅由很多航海家独立观测结果汇编的是第一幅描绘澳大利亚海域海流的图。

号（图3.3）深入考察南方海洋。这次科学考察的主要目的是考察新西兰、新几内亚、新不列颠和路易西亚德群岛，并两次环绕了澳大利亚大陆。同时它的政治目的是在新西兰或澳大利亚大陆西岸寻找建立法国殖民地的地方。像此前历次法国大洋探险队一样，打探拉彼鲁兹和他的“罗盘”号和“星盘”号的下落。

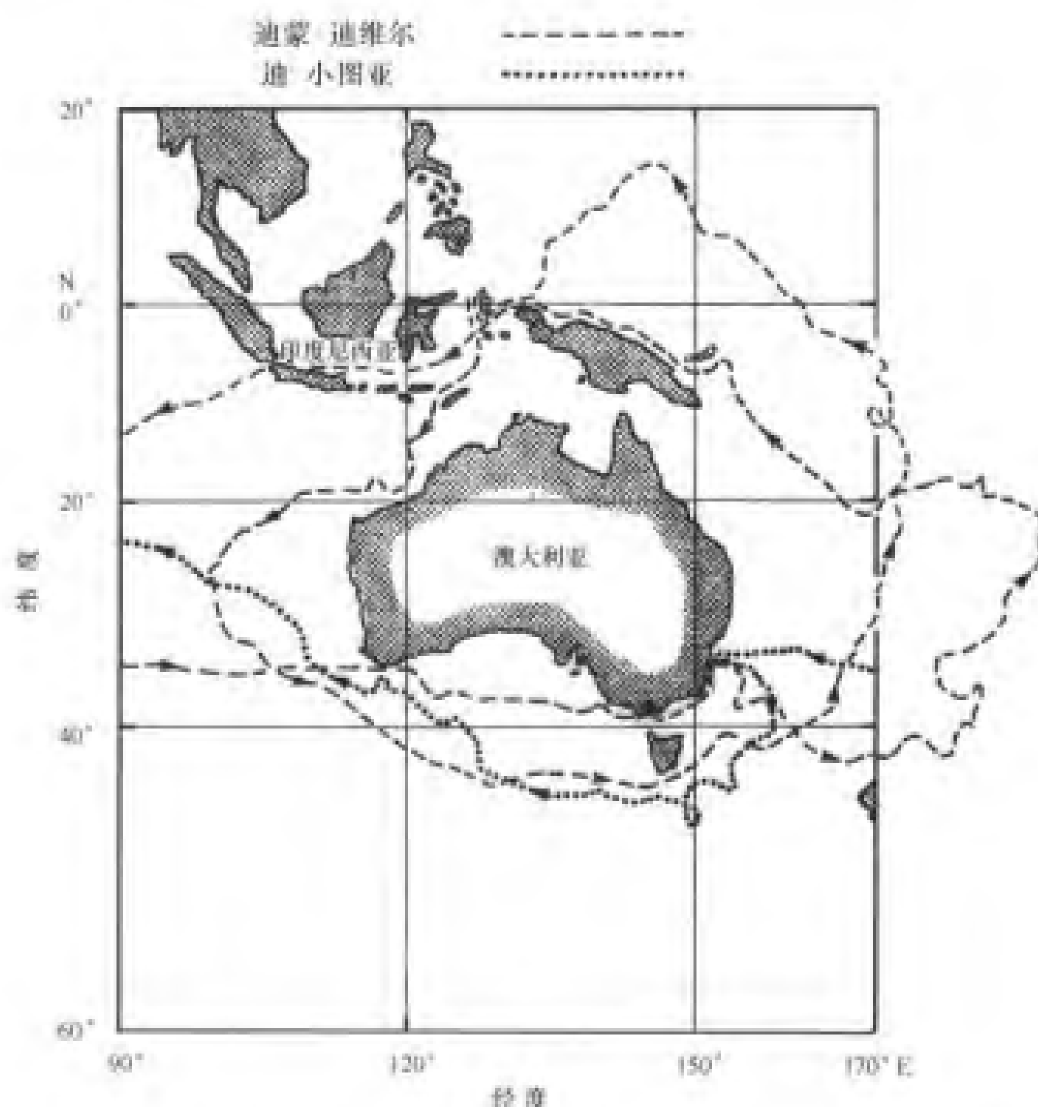


图3.3 迪蒙·迪维尔1826—1829年“星盘”号环绕澳大利亚的航线。1836—1839年迪·小图亚“金星”号探险队航线跨过塔斯曼海、南大洋和印度洋。

我们知道迪蒙·迪维尔的探险队第一次在澳大利亚近海做了深海温度测量，他的工作证明深海资料的获得和解释都有困难。这是他的

第二次南大洋远征，他曾在1823—1825年“贝壳”号两年太平洋科学考察中在迪波莱手下当过上尉。迪波莱曾做过4小时一次的海面温度和常规的海面流观测，可是没有做深海观测。“贝壳”号返航后，科学院几位包括物理学家弗朗索瓦·亚拉果院士都惋惜没有记录水下温度。因此，迪蒙·迪维尔的主要科学兴趣和专长是植物标本采集，1826年受命乘“贝壳”号在太平洋科学考察时，他拜访了亚拉果，听取他对测量海水深处温度的指示。他布置他手下的一名军官V. C. 洛丹上尉在巴黎住了1个月并在阿拉果的指导下熟悉仪器。在巴黎由奔唐制造詹姆斯·西克斯设计的极大极小温度计提供“星盘”号。

迪蒙·迪维尔周密地计划了这次远航，提出要仔细地研究澳大利亚海域。他说，在一个季节以上调查同一海域比再组织一次环球航行容易做到。调查新西兰、汤加、斐济和洛亚蒂群岛是后来加到日程表里的。探险队有79名军官和士兵，1826年4月从土伦起锚，“贝壳”号这时更名为“星盘”号。第一批深海温度计已经损坏，为等待替换的温度计推迟了几天出发。

这一航次的航线经过好望角和印度洋，沿着澳大利亚大陆的南岸，在西澳大利亚的乔治王湾、维多利亚的西港湾和新南威尔士的杰维斯湾停靠补充木柴和水，那时在这些港湾还没有英国殖民地，法国探险队遇见的只有土著人、海豹猎人和个别的逃犯。在杰克孙港停留了17天，悉尼的报纸报道法国旗曾在乔治王湾升起，和以前法国军舰访问时一样，也引起了他们对探险意图的关切。

迪蒙·迪维尔过了塔斯曼海后到了新西兰，做了仔细调查，补充了库克没有绘在地图里的一部分海岸线细节。他发现英国在群岛湾建立了教会，随后探险队考察了汤加、斐济、新赫布里底、新不列颠的许多岛屿，经过了新几内亚的北岸和安汶的荷兰殖民地。荷兰人很好客，但是热带气候使船员得了热病和痢疾。迪蒙·迪维尔希望在南返时贴近澳大利亚的西海岸，但与此前的迪波莱一样，逆风使他的航线偏西，直到塔斯马尼亚的纬度，在那里强烈的西风于1827年12月把他带到霍巴特。

拉彼鲁兹的消息

迪蒙·迪维尔在霍巴特听到在新赫布里底以北的某个太平洋岛屿找到拉彼鲁兹船队残骸的传闻。在他以前，当特尔卡斯托曾经验证关于阿德默勒尔蒂群岛的土著穿着欧洲人的服装的故事纯属子虚乌有。最新的消息来自英国船长彼得·狄龙的报告，但他的话在霍巴特没有多少诚信度，他在那里卷入一场诉讼，被判两个月徒刑［Dixon（1935）］。虽然迪蒙·迪维尔非常想回新西兰继续他的调查，但他还是放弃了这个计划驶往圣克鲁兹群岛。1828 年 3 月在其中的瓦尼科罗岛他按狄龙的报告找到了老“星盘”号的一点残骸，并为拉彼鲁兹和他的同事立了纪念碑（图 3.4），这是解开拉彼鲁兹失踪 40 年之谜的重要的一步。一个多世纪以后，1964 年在那个岛的另一边的珊瑚礁找到沉没的“罗盘”号，它们看来是那个海域常见的暴风的牺牲品。



图 3.4 1826—1829 年“星盘”号探险队在瓦尼科罗立的拉彼鲁兹纪念碑揭幕。“罗盘”号和“星盘”号于 40 年前的 1788 年在圣克鲁兹群岛的瓦尼科罗附近沉没。［引自 Dumont d' Urville（1830—1835）］

“星盘”号的船员在到达瓦尼科罗岛时都很健康，但是在那里停留对他们的身体是个摧残，热病很快传染开了，在离开时半数以上船

员已不能胜任工作。患病的指挥想回到杰克孙港，在比较宜于健康的气候条件下休息和补给新鲜食品，但是遇到风，带着衰弱的船员奋斗了几天，只好转头向北，5 月 2 日到达西班牙殖民地马里亚纳群岛的关岛。

总督麦地尼亚爵士与款待弗雷辛奈一样殷勤接待了他，给 40 名为疾病折磨的船员提供医疗。月底他们又出航了，去加罗林群岛、安汶、西里伯斯、巴达维亚，最后到毛里求斯。经过在下一个停靠港法属波旁岛，14 个人留下来住院，其中主要得的是痢疾。“星盘”号在经过大约 3 年的艰苦航行后于 1829 年 3 月到达马赛。虽然途中有 10 名船员死亡、20 名船员因病留在停靠港，但从为博物馆收集标本和为海军绘制海图的成绩来衡量，还是非常成功的。

在整个航程中，“星盘”号上的军官做了间隔 4 小时的大气和海面状况的记录，此外他们还做了 54 次深海温度测量，其中 43 次是在南半球做的，其结果送给科学院的亚拉果。此后两年中，没有他的分析数据的文章，迪蒙·迪维尔［（1833）p. 52］有些辛酸地总结道：

> “如果不是我为满足学院的要求，我就不会承担这么重的任务，使船员遭受那么多不幸和残酷的疾病折磨。”

他指的是从大深度绞起装有温度计的测深缆的繁重的劳动，他常常指出这对于不到 80 人编制的船员来说不是个容易的工作，因病减员时这个工作就更艰苦了。

迪蒙·迪维尔的总结和假说

面对科学院不重视他的工作的态度，迪蒙·迪维尔还是汇编了在那以前记录的所有的深海温度，他找到了 421 个数据，其中 138 个是在 200 庹以上的深度做的（庹是法国长度单位，合 1.62 米，200 庹合 320 米），他按深度进行了排列。其中有英国船长弗雷德里克·比奇在 1825—1828 年“花丛”号考察中得到的 97 组单独的和系统的数

据，这次考察绕过合恩角，经过太平洋到白令海峡，他的测量覆盖北、南大西洋和北、南太平洋，深度从9米到1 562米。他没有列进一组重要的深海水温数据，是在圣彼得堡公布的，我们猜想他没有注意到，是在1823—1826年由俄国船“企业”号考察记录的，我们后面还要提到它。

迪蒙·迪维尔的总结《不同深度海洋的温度》可在航次官方报告的物理卷内找到。他研究和叙述了地中海和开阔大洋表面以下的温度，在首次研究并取得这些海洋数据的环境之后他得出几个结论：

（1）整个开阔大洋中600度（974米）及以深层的温度接近恒定，约为4.4℃。

（2）温度逐渐升至对应观测季节的表面水温。

迪蒙·迪维尔在此支持了公认的但是错误的理论，认为大洋下层（他认为1 000米以深）充满了大约4℃的温度均匀的水，假定咸水和淡水的性能一致，4℃时密度最大。尽管英国1819年马塞特的实验和德国厄尔曼的实验都证明咸水密度最大的温度低于4℃，4℃理论仍被广泛接受，直到1840年代，甚至更晚。这个概念得到当时观测者，例如比奇记录的深海温度支持。这和迪蒙·迪维尔本人读到的最低读数4.4℃（在澳大利亚西北岸外热带水域）一致。但迪蒙·迪维尔听到厄尔曼用咸水在实验室实验的结果后他还是怀疑：“如果赫尔曼（应为厄尔曼）的实验属实的话，我的理论就完了。”[（1833）p. 63]

不准确的西克斯型温度计测量支持了4℃谬论，因为在那样深的海水中有弹性的玻璃泡被压缩而变形，测出的温度偏高，在迪蒙·迪维尔随“星盘”号出航时科学院的物理学家没有告诉他这个可能性，“星盘”号上用的奔唐温度计用金属壳防止摔坏，但大概不能抵御大洋中的高压。实验上，这就是温度计的玻璃泡从一定深度收回时受到偶然碰撞在甲板上碎裂的原因。虽然已经注意到了这一事件，但还是被忽视了。

在他的航次之后，爱弥尔·楞次跟着科策布埃在“企业”号上继续他在物理海洋学方面的工作，根据他和派罗特教授的实验结果，他们发现西克斯温度计的易损性，指出（1832）需要保护深海温度计不

致因水静压受损，西克斯温度计所用玻璃不适于在高压下工作，在大深度下读数比应有值偏高。在圣彼得堡出版的文章大概没被注意，这个信息没有传给做实验的海军军官。迪蒙·迪维尔没有考虑到。英国科考队在警告公布20年之后还在用没有保护的温度计。

（3）迪蒙·迪维尔进一步总结的在邻近赤道的海域，例如北纬10°和南纬10°之间，在一直到100度（162米）深的水层中温度下降得很快的结论。有比较可靠的根据，他说理由还不清楚，但这个现象和赤道水团蒸发剧烈而经常被较高纬度的深层恒温（他认为是4.4℃）冷水水体所取代的理论是一致的。

（4）迪蒙·迪维尔认为赤道水的补充大概是源于从40°~60°纬度之间海域冷水的运动。时间证明这个理论部分是正确的，但并不是他所设想的大洋水的大规模季节运动。他写道［（1833）p.64］在40°~60°纬度间海域应有一个点，冷水开始在深处缓慢流动，而且：

> “此海域的下层海水周期性直接形成两支难以察觉的海流，一支流向赤道以遏制表层海水热传递的增温效应，另一支流向两极以抵消相反的降温效应。前者冬季最盛，对应热带的旱季，取代丧失于蒸发而不能为降雨补足的海水；后者出现于夏季，取代冰融化形成的较轻的海水，这部分水很快地从表面流向较暖的海域。”

他声称南半球南纬40°与60°间已有足够的实验证明当地表面温度非常接近于4℃。他说4℃极限似乎已在200~300度（330~487米）深度建立，在更大深度，“比奇在南纬47°已有3次有效的测量，得到在678度、825度和961度的温度均为4.1℃”［（1833）p.61］。他认为在某一季节，有一个海域整个海水内海面至海底都有恒定的温度4℃。我们在第四章还要说到他对南纬40°与60°间海水特性的假说，支持了另一个海洋科学的根据不足的概念，那是著名的英国南大洋探险家詹姆斯·克拉克·罗斯（1847）提出的。

“星盘”号航次报告的出版

迪蒙·迪维尔和博物学家著的《“星盘”号探险结果》的报告包含14卷和5幅图，出版于1830—1835年。博物学家让·勒内·康唐·夸博士，J. P. 盖马和彼埃尔·勒松的工作得到很高的评价。迪蒙·迪维尔申请科学院的从1829年就空缺的职位，但很遗憾没有当选。他认为是弗朗索瓦·亚拉果对他的科研工作没有兴趣导致他的落选，因此日后就怨恨亚氏，并把他看做敌人。

关于海洋波浪波高的争论

著名的天文学家和考察科学家之间还有另外的分歧。当“星盘”号1826年横跨南印度洋的宽广海域时，遇到伴有山一样巨浪的狂风，一名水手落水死亡。迪蒙·迪维尔说波高达到“至少80～100英尺”。那个时期大家认为波浪不会超过30英尺，迪氏的估计受到质疑。还没有谁比亚拉果更反对他了，在指导“金枪鱼”号考察物理研究时要求更科学地估计波高，他认为波高达33米（108英尺）的估计中想象占相当大的成分。后来在1841年“金星”号总结报告中，亚拉果进一步提到“某些航海家生动地想象出来海上的巨浪”。

迪蒙·迪维尔为这个嘲笑所激怒，发起反击。的确，20世纪南大洋波浪卫星观测中发现迪蒙·迪维尔的估计作为百年一遇并不是不能置信的。

第一个经向深海环流模型

我们已经提到对赤道和热带海域中的冷水来源的推测。英国拉姆福德公爵和欧洲亚历山大·冯·洪堡提出理论，因为没有把热带太阳加温的海水冷却的冷源，这股海水必然是从极地沿经向来的。18世纪20年代为迪蒙·迪维尔，30年代为气象学家亚拉果的实验所证实，

但是40年代爱弥尔·冯·楞次才第一次提出由极地到赤道的深海环流模型。他总结了1815—1818年科策布埃在"鲁瑞克"号上近同一深度在北大西洋宽阔海面中相距不远的站位做的一系列温度测量，发现接近赤道处等温面突然上升，如图3.5所示。以北纬48°至赤道画出的水下14.5℃等温面为例，北纬45°至48°间在350英尺深，而北纬23°至26°间逐渐下沉至640英尺，然后靠近赤道海域突然上升，在北纬15°海面以下390英尺。他解释为存在冷大西洋海水下沉，由高纬度在深处流向赤道，在那里上升以取代温暖的海面水，而后者应在海面流向北极。他推论南半球存在另一支对应的反方向的流。

> 因此，在围绕赤道的海区内，两支海流汇合，海水几乎从深处向海面流动；观测证明这支海流与此区南北两侧靠近的海流相比，在比较浅的深度遇到冷水。[楞次（1847）普雷斯维奇译（1875）]

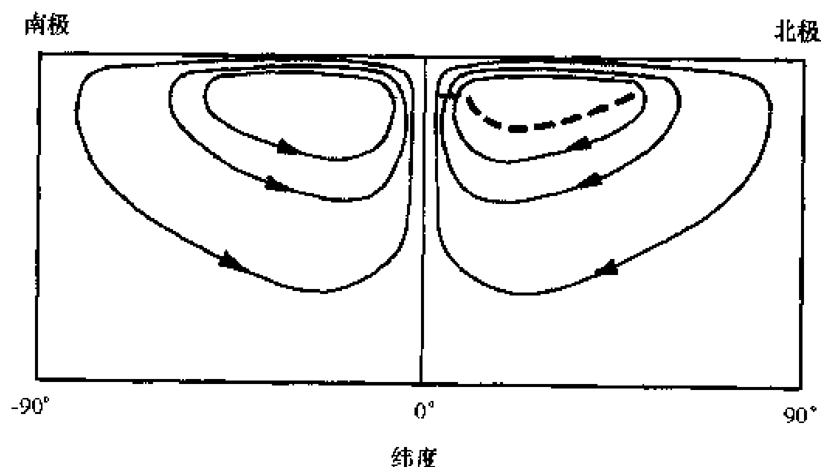


图3.5　楞次的大洋经向环流的观点是基于实验之上的，表示出4.5℃等温面在接近赤道时变浅。现在看来这个深海环流图像并不准确。环绕南极洲深处沟通三大洋有强大的流。北太平洋和印度洋上有下沉的水源。尽管后来对楞次的概念做了补充，他的模型仍不失为有用的总结。

楞次用科策布埃1815—1818年的数据构成极地赤道深海环流的模型，支持了几十年内对这个课题有待证明的理论表述。1847年又有

法国“金星”号考察的数据补充进来，我们后面还要引用。楞次参加科策布埃的第二航次，做了观测，并用温度计测量水下温度使他的海洋物理学知识得到增进。他的极地到赤道深海环流模型影响了海洋物理学家70年之久。后来的技术进步对他的理论模型做了细微的改进。

海洋的盐度

根据1823—1826年考察中所做的200多个比重观测，楞次（1832年）做出结论：直到1 000英寻深，在很广的纬度范围内，海水的盐度几乎相同。海水的比重取决于溶解盐的量。然而他能识别并解释大西洋赤道南北各几度的热带海面存在盐度极大值，他猜想太平洋也可能有同样情况。他指出太阳加热对蒸发和海面盐度的影响，但注意到赤道常有无风区减小了蒸发作用。我们现在知道大洋的赤道带蒸发超过降水。

楞次在圣彼得堡科学院的其他领域的研究工作赢得名声，他最著名的成就是发明了两个电磁学的基本定律。

海底的最低温度是多少

1823年楞次在“企业”号远航时航海家普遍知道大洋中温度随深度逐渐降低，但都相信温度降低有个极限。像在欧洲深淡水湖中发现的大约4℃的极限一样，科学家都相信海水温度极限也是最大密度点，海底充满了黑暗、没有生命的、恒定4℃的水。我们已经谈到，迪蒙·迪维尔的测量值似乎支持了这一理论，利用詹姆士·西克斯发明的温度计的极大和极小指示，没有人在深处测得低于4℃的温度。然而在“企业”号上，楞次在热带却测得低于2℃的几个深海温度。他用的不是西克斯型温度计，而是俄国G. F. 帕罗特院士设计的异型的黑尔斯表［楞次（1830）］。这种绝缘的表，顶端有阀，底端装有结实的水银温度计和楞次定义为“深度计”的仪器，每次放置在水中15分钟。他根据实验做了修正，一是针对仪表回收时发生的温度升

高，二是针对测深缆的倾角和在水中张力引起的伸长［Prestwich（1875）p.599］。他9次测到了深海水温低于4℃的情况，而4℃是迪蒙·迪维尔主张的洋底均匀水温的值。他的发现当时很少引起注意，但在下一个10年确为他人所证实。

拉普拉斯考察

19世纪30年代法国海军多次在南大洋考察，大部分目的是出于扩张和通商。南美的原西班牙殖民地是多艘商船的目的地，那里也是捕鲸业感兴趣的地方。海军的常规工作也包括若干气象和海洋状况的观测。

两次这种考察是西里尔·彼埃尔－特奥多尔·拉普拉斯领导的，第一次是1831—1832年“恩惠”号，意在接续此前的雅辛特·德·布干维尔的扩张使命，恢复法国在印度支那的权力、绘图和提供商人情报。拉普拉斯指挥有4门炮、载重量680吨的轻巡航舰赴印度支那的首要任务定为“悬”，“做各种测量”以仔细研究航次途中洋流的方向和强度。这些都列在任务的公开报告中，包括舰上军官所做的系统的3小时一次的气象观测［Laplace（1833—1839）］，但没有公布海面温度的数据。

霍巴特的英国流放地不仅给法国轻巡航舰提供补给，而且还殷勤招待了船员，他们中因为可怕的痢疾值行，有60人不能服役。在考察结束后6年出版的这次28个月的官方报告中有漂亮的彩色插图和一张海图，还记载了执刑制度。

拉普拉斯1837—1840年领导了第二航次至东南亚和太平洋，这是扩大法国海军在该海域活动以保护和推动法国贸易的时代。例如在同一年代，J. B. 塞西尔指挥的“女英雄”号被派往太平洋，专门巡逻法国船与英美冲突的捕鲸海域。虽然对这些航次都下了收集“对水文和物理科学有用的”信息的命令，作者在巴黎皇家出版社的航次的六卷报告中［Laplace（1841～53）］并没有看到气象和海洋数据，而只有指明那个时代贸易前景不断增加的商业活动。像在大航海年代前

频繁的探险一样，人员损失也惨重，36人死于途中，11名伤病留在医院或转往其他舰船，在各停靠港有20人开小差［Dunmore（1969）p.336］。

“金枪鱼”号1836—1837年远征

路易·菲利普王朝把法国国王的旗帜和三色旗插到首次远征太平洋的“金枪鱼”号，奥古斯特－尼古拉·瓦扬担任船长，这条船是载重量800吨武装的军需和运兵船。它的首要任务是外交使命，送领事官员去智利、秘鲁等南美共和国以及菲律宾，顺便收集法国商人和外交部需要的情报。航次指南中有一系列气象学、物理学和磁学观测，虽然没有计划在经过的地方作较长停留，但还是希望有服务于其他学科的机会。

法国科学院对“金枪鱼”号远征的科研工作专门做了指示，后来成为那个时代法国考察的规范。这次远征于1836年2月从土伦起锚，停靠了南美洲东岸的里约热内卢和蒙得维的亚和西岸的瓦尔帕莱索、卡亚俄、佩塔、瓜亚基尔，然后向西北驶往夏威夷。主要应天主教要求法国海军进入桑威奇群岛（夏威夷群岛）。此后瓦扬访问了菲律宾、澳门、越南、新加坡和印度，为法国寻找商机。“金枪鱼”号归途中停靠印度洋中的波旁岛（法属留尼汪岛）和大西洋中的圣赫勒拿岛补给，1837年11月到达布列斯特。这次环球航行耗时不长，而且没有发生人员伤亡和严重事故就完成了。

对物理科学发展的指示

图3.6是弗朗索瓦·亚拉果的肖像，他做了关于物理科学的指示（1836）。

> 气象学方面不应因为此时观测做不出漂亮的结果而放弃；实际上，我们应注意我们正在提供后人未了解的课题；

需要给他们准备解决大量我们还没有机会提出的重要课题所需的手段，注意：古人既没有温度计也没有气压计。



图 3.6 弗朗索瓦·亚拉果（1785—1853 年），法国著名天文学家和科学院秘书，他海洋物理学的研究建议是 19 世纪法国太平洋探险执行的指南的一部分。

“金枪鱼”号军官除了按要求做每小时一次的气象和海面观测外，还得记录海流方向和速度，特别注意洪堡首先提出的沿智利和秘鲁海岸的寒流。亚拉果希望通过他们对从合恩角到赤道的海面温度测量能补充迪波莱在“贝壳”号获得的海流资料。瓦扬本人也从航海问题中发现这个资料的重要性，他在停靠瓜亚基尔港后，想去加拉帕哥斯群岛，但经过 4 个阴天不能做天文校正，他发现船到达预定位置以北 1°，以西 0.5°，也就是说他高估了西北向流的强度 [Dunmore

（1969） p. 273］，已到达岛的北边，只得放弃去加拉帕哥斯的希望，继续驶往桑威奇群岛。

据报道巨浪的波高可达 5～33 米，亚拉果提出改进估计的实际方法：派观测员爬上桅杆，当船位于波谷，来波和去波的波峰成一条直线时，估计波高。他认为这个简单方法可以作为估计周围波浪垂直波高的有用的方法。

亚拉果说“金枪鱼”号带了测深和测深海温度的仪器：

> 现在无疑赤道海域的冷下层水是来自极区的水下流，但是即使这一理论全部正确也不能取代我们这里所说的实验。例如，在各纬度极冷层的深度才能直接地与海洋的总深度有关，预计此深度或早或晚可从温度－深度测量值推出。

“金枪鱼”号装备了奔唐制造的水下测量用西克斯型温度计，包在毛布保护层中，装在玻璃管中，封在铜管内，即使如此，普莱斯威奇（1875）说铜管仍不能防止进水和水压效应，当船在赤道附近平稳时最适合做这个工作。一共做了最深达 2 695 米的不同深度的 16 次温度测量［Arago（1838）］。

“金枪鱼”号军官用 J. B. 比奥发明的仪器从深层取水样，研究海水成分，在停靠港测了陆上地磁。亚拉果在给科学院的报告中没有提到波浪大小。

“金枪鱼”号探险进行的物理海洋学观测虽有价值，但被同一时期更长时间的“金星”号南大洋探险得到的结果所掩盖。

1836—1839 年“金星”号探险所做的物理海洋学研究

1836—1839 年迪·小图亚证明法国快速帆舰“金星”号探险的观测显著地扩展了海洋动力学知识。他的主要任务是保护增多的捕鲸、贸易和传教活动，为安全测绘他们活动的港口，1838 年有 29 艘之多的法国船到达新西兰的群岛湾［Dunmore（1969）］，1840 年夏季

法国轻巡航舰“星盘”号和“热心”号看到了同时在霍巴特港停了13艘法国捕鲸船。

“金星”号经合恩角进入太平洋，停靠了几个南美港口，横跨北太平洋，直到堪察加。迪·小图亚向南返回时考察了加利福尼亚和墨西哥海岸以及复活节岛，在瓦尔帕莱索维修补给。然后1838年夏探险队到了新西兰，跨过塔斯曼海到了澳大利亚，在悉尼港约1个月，在平奇哥特岛（今丹尼森堡）建了观象台，然后向南航行，向西环绕塔斯马尼亚，与强风巨浪奋斗，到达莱文角。途中遇到南大洋的逆风，航行条件至为恶劣，从悉尼到莱文角历时44天，跨过印度洋，绕过好望角，进入大西洋，完成环球航行，历时2年半，1839年6月终于到达布勒斯特。

迪·小图亚和多特·德·特桑对海洋学的贡献

“金星”号环球航行中进行了有规律的广泛的科学观测项目，包括气象和海面观测、系统地观测海面流和59次深海温度测量，其中记录了大深度非常低的温度。深海温度是由技艺娴熟的水文工程师多特·德·特桑所测。

“金星”号的观测对描述太平洋海面环流的水下图像很有价值，它在南美几个太平洋港口之间的航行获得了秘鲁海流的重要资料，几次深海温度测量发现了大深度有巨大的向赤道的冷水流。在奇洛埃西南海深1 780米处，测得海面温度13℃，812米深处4.1℃，1 786米深处2.3℃，未测到海洋底部。

在从新西兰到悉尼跨过塔斯曼海途中，特桑观测到沿新南威尔士东岸南下的暖流，从悉尼向南航行到塔斯马尼亚东岸时，船有两天经过一个水带，温度比两侧高4℃～5℃，那时在伯格豪斯的太平洋图中已标出这一水带。根据现代的知识，这支暖流应是东澳大利亚海流分出的涡流，平常并不一定那么靠南，可能在几天内形成或消失。例如1984—1985年，在塔斯马尼亚大陆架的卫星图像中又发现了这一现象。这种海水温度变化对渔业非常重要。

1839年2月当“金星”号绕过莱文角时，水文学家特桑寻找类似印度洋东边的赤道向寒流，他的理论为在经过海域的深海测量所证实。同时在这个海域也有莱文暖流向南流进寒冷的西澳大利亚海流中，他的顺路观测太粗，还不足以说明这个复杂结构［Jones & Jones（1989B）中已有讨论］。

特桑发表在物理卷的考察结论中提出有坚实基础的总结，现在地理学家都已熟知：

> 寒流沿大陆西岸从极地流向赤道，寒流从东向西沿赤道流动，暖流从赤道沿大陆东岸流向极地。［Du Petit – Thouars（1841—1845）Vol 10 p. 381］

“金星”号的观测在当时很有价值。特桑的总结形成了太平洋表面环流的系统变化的主要基础，我们后面再讨论1851年和1853年芬莱描述的这个环流系统。

“金星”号记录到最大的波浪高由峰到谷为7.5米，远远比迪蒙·迪维尔1826—1829年“星盘”号航次报道的要低。最长的波是在新荷兰南方遇到的，估计3倍于“金星”号船长，即150米［Arago（1841）］。只有延长统计时间才可能有迪蒙·迪维尔看到的巨浪。

“金星”号也作出努力寻找海洋的最大深度，在合恩角附近一处没有测到海底，推测深度为4 000米以上；另一处在中太平洋，推测为3 790米。这种调查需要60名以上水手2个多小时的摇绞车工作。

迪·小图亚和多特·德·特桑从这个航次中带回一些重要的大深度海洋的水下温度测量数据。他们还意识到水压对温度计读数的影响问题，并通过实验估算其可能的作用，特桑用了奔唐做的自动记录极大极小温度计，封在金属管内以抵御深海的水压。然而有几次水还是进了管子了。特桑用实验对读数进行了数值修正。有时在2 000米以深管子和温度计都压碎了。尽管迪蒙·迪维尔和比奇曾测得4.4℃的读数，但特桑却在西澳大利亚乔治王湾1 610米深处测得3.0℃和2.7℃，最低的读数1.4℃是在太平洋赤道附近3 740米深处测到的。

这些低温度数据和10年前楞次在科策布埃的探险中测得类似低温数据一致。注意，那不是用西克斯温度计测的，而是用水银温度计浸在有阀的绝缘管内15分钟测量采获的水样的温度的方法得到的。

弗朗索瓦·亚拉果在他给科学院的报告中指出，“金星”号上又测出深处温度低于4℃，因此海水温度不会低于4.4℃的说法不应再存在了，很多学者之所以坚持这个说法，是因为忽略了测量深海温度的压力效应。

但是长期存在的极地和赤道海水直接联通的看法为特桑在热带深处测得2℃和3℃的数据所印证。亚拉果说物理学家所能接受的唯一解释是这么低的温度是存在水下海流把冰海的底层水运输到赤道产生的。随后在1847年楞次对1845年蒐集的数据的研究中也证实了图3.5所示的理论。

特桑有创见地研究了各大洋深处的环流。从同样的海面温度之下测得的深－温曲线的显著差异和测深缆的倾角数据中，他看到在海面流之下可能有不同方向和温度的海流，这可以解释为什么测深缆的方向并不总是与由船位推算计算出的船的方向一致［Du Petit－Thouars（1841—1845）Vol 10 p. 392］。他说在垂直缆上的一组读数对证实假说是有用的，但是除了在少数情况下，这种耗时的实验在军舰上并不实际，不可能提供需要的那么长时间。他的意见被证明是对的，例如在太平洋，现在知道强大的水下逆流在西向的南赤道海流之下约60米向东流。现代的海洋科考船常常配备有一种称为多普勒海流剖面仪的仪器，能同时测出相对于船的各个深度的海流，而且不需要停船，在船走航时就可测量海流。

温度测量和气候学

因为在1 000米深处海洋的温度季节变化很小，几个世纪内全球气候变化可以从19世纪海洋学家所测的与后来测得的海洋深处的温度比较而得出。例如我们选150年以前1838年“金星”号在1 000米以深的塔斯曼海测得的数据与1986年英国海洋科考船“库克”号在

同一坐标测得的温度相比较。现代的观测是用颠倒温度计做的，而特桑用的极大极小温度计已成功地考虑了压力效应，而且对深度做了测深缆倾角修正，数据比较见图 3.7，两者相当吻合。用此还可以检查 19 世纪科学考察时在南大洋其他站位所得历史性数据的有效性。

太平洋的海面流

我们已经说过第一张太平洋地图是克鲁森斯特恩画的，1824 年和 1827 年《南大洋地图》分两卷在圣彼得堡出版，其中画出大比例尺的岛屿和海岸线图及供海员用的此前航海家报道的海流的文字资料，但没有画出海流图。然而在 1837 年海因里希·伯格豪斯画出了这种海流图。在波茨坦地理美术学校他为洪堡的《宇宙》制作图。在《太平洋物理图》中他收集了以前众多航海家的所有观测数据，制作用流线或箭头表示海面流的地图，附在 1845 年出版的《物理地图》一书中。图中标出洪堡海流（即秘鲁海流）的范围，因为西班牙殖民地都位于南美洲的西岸，欧洲航海家都熟悉它，1803 年亚历山大·冯·洪堡首次提到。他还画出“日本暖流”（黑潮）及沿新南威尔士与范迪门地（塔斯马尼亚）海岸的暖流。

1837 处伯格豪斯的太平洋图的一部分示于图 3.2，有两点值得注意：

（1）没有大洋盆海面流闭合环流图的明确表示。从现知的南极洲海域画了向北流的很宽的海流。而印度洋和太平洋却没有这样的流。当然在 1837 年时还不知道有南极洲。

（2）澳大利亚东岸外的海流画得向南流得太远，还用箭头表示出方向改变，这支海流从杰克孙港殖民地建立时起，甚至早已由库克和拉彼鲁兹画出，由南纬 28°直到霍巴特的纬度。箭头画出错误的季节反向，这个方向变化的根据是杰弗瑞上尉的报告，他 1814 年和 1817 年间乘英国调查船“袋鼠”号在悉尼和霍巴特之间航行多次（见第四章），1829 年英国海军部南方大陆（澳大利亚）总图包括了杰弗瑞的报告。现在我们知道悉尼与霍巴特之间澳大利亚海岸有个发展充分

的漩涡，其流速和流向使杰弗瑞认为它是随季节变化的，在后来伯格豪斯太平洋图的英文版中也来用了新南威尔士转向流这一名字，也用于 1848 年和 1850 年约翰斯顿的物理图中。

在 19 世纪 50 年代，作为对太平洋更多的探查与研究，积累观测数据的结果有可能对太平洋表面水的运动作更详细和广泛的总结，最早做到这点的是英国地理学家和制图学家亚历山大·乔治·芬德莱。1851 年在他的《太平洋航海手册》中总结了关于太平洋的所有知识，他说他需要参考各种文字的 100 多本书，才能编出他那个时代最新的航海手册。1853 年在关于大西洋和太平洋海流对拟议中的中美洲运河的可能的影响的报告中，芬德莱能够画出太平洋中的两圈表面流，其主要图像与现在的图很相似。那个时代还没有足够的证据确定由西向东的赤道流的范围。他不认为东澳大利亚海流有季节性。他的资料大部分来自我们提到过的那些太平洋航海家的观测数据，有些则是我们将要提到的英美航海家提供的。

1837—1840 年迪蒙·迪维尔在大洋洲和南极洲的探险

还必须注意这个时代的另一次法国科学探险——迪蒙·迪维尔到南半球的第三次探险。19 世纪 20 年代英国和美国海豹猎人曾进入大洋南边的海域到更高纬度，发现南奥克内群岛的英国海豹猎人詹姆斯·威德尔 1823 年 1 月到达南纬 74°的高纬度，现在这片海域冠以他的名字——威德尔海。在他著的《南极探险记》（1825）中提出有可能坐船到南极。1831 年和 1832 年比斯科和埃弗利船长测绘了恩德比地和格雷厄姆地，后来证明是南极洲大陆的一部分。1837 年，当时迪蒙·迪维尔刚完成他在“星盘”号上探险报告的出版工作，就发起另一次探险考察南大洋的群岛，他发现路易－菲力普皇帝非常中意这一探险的主意，提出后就批准了。已经知道英国人在准备南极探险，这正是法国对当时尚未完全探明的海域感兴趣的时期。计划夏天作穿越南极海域的努力，而冬季则考察南太平洋中的群岛。

那年迪蒙·迪维尔 46 岁，再度指挥“星盘”号以及另一艘由载

重量300吨军需船改装成轻巡航舰的“热心”号。他的朋友夏勒·埃克托·雅基诺，曾跟他一起在“贝壳”号上出海，在上次“星盘”号航次中担任副职，这次是“热心”号船长。

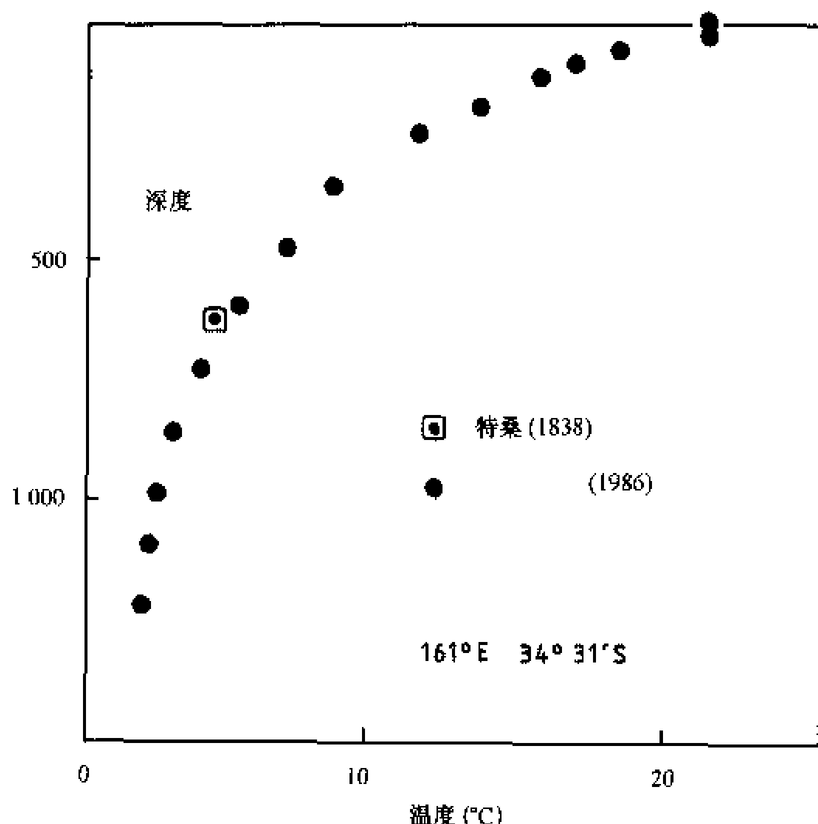


图3.7 1838年法国快速帆舰“金星”号在塔斯曼海用耐压温度计测得的一个深海温度，与148年以后英国皇家考察船“库克”号一系列测量的结果非常近似。

当时为船上的165名官兵订购耐严寒的服装，可是两船都没有为在冰海中工作而加固。士兵都会博物学研究，此外，生理学家兼骨相学家P. M. A. 迪穆蒂耶担任助理博物学家。出海前迪蒙·迪维尔花了10天时间在伦敦购买图集和参考书。

探险队1837年9月自土伦起锚。虽然这时法国战舰已武装到牙齿，这次的主要任务还是科学考察，而不是远征。气象、磁学和海洋学的深广研究是这次探险的一部分研究课题。从地中海里开始，迪蒙·迪维尔就用深海温度计测量，与他1829年在同一地点所得出结

果相比较。在220度（369米）和550度（922米）他发现温度分别为13.2℃和12.8℃。这进一步证明了他以前关于水下温度的理论，即在封闭的海域（如地中海）200度以深温度均匀，约13℃；而在开阔海洋中，在同一纬度温度可能逐步、继续降低。为了证实这一点，他在“星盘”号经过直布罗陀海峡时放下测深缆。他发现在大西洋，600度（1 006米）深处温度降低到8℃。像这种半封闭海的封口海岭两侧温度剖面差别显著的情况后来“挑战者”号和“瞪羚”号（见第六章）在印度尼西亚岛屿之间也测到了。

条件允许时也用温度测量仪在别处测量，此时常常在测深缆上隔一定间距挂一台仪器以得到一组数据。记载用了装温度测量仪的管子，但没有说明它是否有效。同时测了各处海水的透明度和水压对木头、纤维和金属等物质的作用。

12月份探险队在麦哲伦海峡边的法明港建了个帐篷，从那里他们按照威德尔的航线向南，但是被流冰所阻，没有到达威氏曾到达的纬度。船被冰块卡住3次，冰碎裂后用缂绳把船拉出才逃脱，非常艰苦。不久两船爆发坏血病，使40名船员病倒。3月离开这一海域，探险队在智利港口休整，然后向西北航行，在马克萨斯群岛、社会群岛、萨摩亚群岛和汤加群岛（友爱群岛）考察和采集标本。在斐济群岛，因4年前皮瓦村的土著杀死了法国军舰可爱的“约瑟芬”号的船长而报复，显示了法国的实力，把村庄付之一炬。法国航海家和商人的安全堪忧。镇压了土著人，探险队完成了对群岛的考察。

1839年1月迪蒙·迪维尔又到了关岛，他10年前率“星盘”号官兵曾受到殷勤的款待。3月他访问了埃辛顿港的殖民地，这是英国在澳大利亚最北边的领地。他原打算经过托雷斯海峡向东，因遭遇逆风不得不放弃。在接下来的6个月内他在东印度群岛考察和做博物研究，动物标本大获丰收。但是热带潮湿气候使官兵付出了生命代价。他们在苏门答腊的楠榜湾上水和食物，准备开往霍巴特，开出几天两舰上的海员就有人患上痢疾。希望较凉爽的天气可以使他们恢复健康，但不到一个月就开始死人了：

“十一月一日起我们探险队进入灾难期，那一天风开始稳定在南南东方向，我们不得不放弃马上遇到我们两船期盼已久的西风带的希望。下甲板挤满了病人。从那天起直到我们到达霍巴特市可以说我们的旅程简直就是一场葬礼，每天我都要记下‘星盘’号和‘热心’号上逝者的名字。”[Dumont d’ Urville, Rosenman 译 (1987) Vol2, p. 439]

“热心”号上的军医请求船长驶往澳大利亚西岸的斯旺河或毛里求斯岛，但是船长不能改变以霍巴特为基地再探南极海域的计划。探险队没有得到与威德尔可比的地理学成绩和知识，美国和英国人正开赴南极刺激他们再做一次努力。

他们12月11日到达霍巴特之前已有3名军官和13名士兵去世，之后又死了6人。船员因病减员太多，迪蒙·迪维尔提出他只带着“星盘”号南下，把两船残存的船员集中才能应付航行。而雅基诺坚持“热心”号同行，而从霍巴特码头招募海员，其中一部分是从法国捕鲸船流散下来的。

两船靠岸维修和治病时，受到副总督约翰·弗兰克林和霍巴特市民的接待，这位副总督后来因死在北极而闻名。比斯科船长访问了“星盘”号船长，他告诉海员相信在麦夸里群岛以南有大陆，还说在悉尼遇见美国探险队长查理·威尔克斯，他曾到过南纬高纬度（见第五章）。

新年期间“星盘”号和“热心”号向正南航行。最初他们遇见好天气，但是碰到冰原比预料的要早。虽然迪蒙·迪维尔探险队没有如愿到达南纬70°，可是发现了在东西延伸的冰障后面有积雪很厚的陆地，在没有冰的石岛上矗立着纪念碑一样的花岗岩块，给它取了个法国名字，以他的夫人命名为阿黛丽地。花了些时间在登得上的冰岛上安装仪器测量地磁。当时误认为已非常接近地磁极，但没办法越过冰障到达。几天后在恶劣天气中，一艘船在大量冰山中失事，搁浅在据信为南极洲的海岸。1840年1月30日有机会用深海温度计做了实验，得到预想不到的结果：

> 傍晚我们到达这个特殊海岸的凸出的岬角……在那里我们结束了这次调查。下午6时在冰的间隙中，转向西方之前，有一段短时间我们两船能互相联系，“星盘”号的小艇靠近“热心”号，我们放下带有200英寻缆的测深锤，没有到底。缆上挂有温度测量仪，在那个深度测到的温度仅比海面低1度。海面温度为零度，迪木兰先生甚至预计深处温度不减反增，他把这个结果的原因归结为靠冰太近。我非常赞成达个意见，考虑到海面温度已经是零度，在大深度下温度应该上升。[Dumont d' Urville, Rosenman 译（1987）Vol2, p. 488]

探险队立即回到霍巴特载上患病的船员，然后经过奥克兰海峡驶往新西兰测绘南岛的东岸。在群岛湾他们遇见为英国占领北岛的霍布孙船长。法国指挥官不承认他的占有。两船从那里返航，在寻找托雷斯海峡通道前考察了路易西亚德群岛。

在海峡入口，“星盘”号和“热心”号都触到珊瑚礁，焦急地等了若干天才等来大潮浮出船只。“星盘”号的保护壳在珊瑚礁上撞坏了，船体倾斜38°，水位降低时，有翻船的危险。虽然已经做了弃船上小艇的计划，但是幸运的是海面下降到预计的最低水位前，海水又开始回升到船自己能回到正确位置的水位，同时在船壳下面找到支撑，船长把他们的逃生归功于盛行风，将水推回西方。在下一个高潮到来时，已经安全的“热心”号上的30名船员帮助“星盘”号的水手推绞盘将船拉下珊瑚礁。托雷斯海峡很浅，有很多岛屿和礁石。虽然它是通向亚洲的捷径，但需要十分小心才能通过这一水域进入亚拉佛拉海。探险队在帝汶的古邦湾仅停留了3天以避免痢疾。没有进一步的计划等着完成了，他们起程回法国。

探险队在1840年11月7日到达土伦，带回丰富的动物和植物标本，给自然博物馆的学者留下深刻的印象。他们的地磁学、气象学和水文学研究获得很高赞誉。两艘军舰在太平洋的存在起了“悬”的重要作用，支持了法国人的传教、通商和捕鲸。

在1842年和1854年间这次探险的总结报告才陆续出版，共有32集，其中有7幅高质量的地图。但是迪蒙·迪维尔生前并没有看到，他和他的妻子、儿子1842年5月在一次铁路事故中丧生，只撰写了前3集。经过的叙述、物理和水文，是水文学家樊尚顿·迪木兰完成的。物理集包括气象学表和海面数据，但没有包括深海测温数据。迪氏的去世削弱了物理学研究。“热心”号军医埃利·勃吉尤1842年出版了自己的总结，其中批评了他的领导对众多病号和逝者（20名在船上，其他在沿途医院中）的非人道主义的做法。人员损失的确太大了。

在迪蒙·迪维尔的大洋和南极远征中，与同一时期美国查尔斯·威尔克斯领导的探险队和英国詹姆斯·库克领导的探险队一样，比早几十年更加注意系列的温度测量了。这些水下测量结果和罗斯与威尔克斯获得的一样，都没有发表。后人只能读文字叙述来推测这些数据。约瑟夫·普莱斯威奇在另一本收集更广的深海温度总结（1875）中没有包括迪蒙·迪维尔的最后航次。这位光荣的航海家，虽然他擢升到海军少将，又因解开拉彼鲁兹命运之谜在历史上占有光辉地位，还分享发现南极洲的荣誉，但他最后把艰难取得的海洋学数据遗忘了却是不可饶恕的。

第四章 英国统治下的和平

1815年欧洲恢复和平以后，英国海军在世界贸易至关重要的交通线起着越来越重要的安全保障作用。拿破仑战争结束后，英国建立了全球范围的帝国。在不列颠时代，英国海军在远方，例如加勒比、西非、南美和南方大陆测绘海岸线，1823年后向各国的航运界出售先进的海图。英国皇家海军的活动直接促进了海洋科学的发展，19世纪前叶没有别的国家政府支持海洋科学，而后继的水文学家，其中大多数是英国皇家学会的会员，他们在科学方面的兴趣使海洋现象和博物学研究成为海洋考察的经常性的工作。

1795年英国海军建立水文部，任命科学家亚历山大·达尔兰浦尔为首席水文学家。他的继任人是1808—1823年的海军官员托马斯·赫德上校和1823—1829年威廉·爱德华·佩里少将，他们领导水文部时海图开始卖给商船。佩里对北极探险很有经验，意在寻找环绕美洲的西北通道，在他的两次探险中，做了若干次深海探测。他规定了海军水文学家的职责，这些海军水文学家一般是对科学知识的进步感兴趣的科学家和伦敦皇家学会的会员。其中杰出的是弗朗西斯·蒲福少将，在1829—1854年26年水文学家的生涯中，英国海军在世界大洋中组织了活动，不仅是测绘，而且还收集气象和海洋学数据，为博物学研究提供平台。

马修·弗林德斯1801—1803年环绕澳洲大陆的航行

19世纪开始不久，当时仅有一个英国流放地在杰克孙港，管辖一块在诺福克岛的殖民地。英国海军发起首次环澳洲大陆的航行和测

绘，是1801—1803年由马修·弗林德斯在“调查者”号上承担的，完成得非常成功。协助他的有约翰·墨累上校（在60吨双桅船“纳尔逊夫人”号上，船有3根滑动龙骨，很浅的6英尺吃水，派往殖民地专司测绘工作）。

马修·弗林德斯1795年在皇家海军“信心”号当下级军官航行到新南威尔士，这艘舰曾送第二任总督亨特上校来殖民地。弗林德斯在这一航次中跟医生乔治·巴斯成为好朋友，两个年轻人为在新流放地的丰富发现所激动。在悉尼，得到亨特总督的支持，两人共同进行考察事业，他们一同在小艇上测绘了杰克孙港附近南北海岸的海洋和水道。1797年12月在6人无篷捕鲸艇上，巴斯沿海岸南下，直到他的六星期食物能支持的西港湾（在今维多利亚州），他看到向西延伸的海峡入口的记号。第二年，这两位探险家有了25吨纵帆船“诺福克”号，为调查并证实存在海峡的可能性，做了环绕塔斯马尼亚岛的航行。这个发现缩短了到杰克孙港的旅程一星期以上，对英国人有重要战略意义。他们立即在塔斯马尼亚建立殖民地以制止法国的企图。

1800年弗林德斯率“信心”号回到英国，他出版了《海岸线图》，并希望编绘整个南方大陆地图。为了实现这个雄心，他争取了有影响的皇家学会主席约瑟夫·班克斯爵士的帮助，他向海军部长申请开展完整的新荷兰和新南威尔士海岸带的考察。海军部知道拿破仑曾派包丹领导的科考探险队去这一海域，就抓紧时间组织测绘。弗林德斯在他的《南方大陆之旅》（1814）中写道，“我的主要成就是精确调查南方大陆的海岸线，达到不再需要派船去测绘的程度。”弗林德斯接到命令率轻武装的载重量334吨纵帆船“调查者”号去测绘时，他娶了青梅竹马情人安妮·查佩尔，想带她去悉尼。停泊在海军码头的“调查者”号为新婚夫妇准备了爱巢，正度蜜月时，海军部长圣文森特伯爵的到来，搅散了他们的美梦。他发现安妮“没戴帽子”藏在舱里，以为不妥，宣布禁止海军军官的妻子登上皇家军舰，这一禁令以前常被忽视。“调查者”号放下安妮开走了，弗林德斯没有想到这一走他们竟然分别了10年。

有钱的约瑟夫·班克斯自从他和詹姆斯·库克到植物湾后一直对

南方大陆有兴趣，乘测绘澳大利亚海岸线的机会为扩大殖民地调查这一地区的资源。他聘请了植物学家罗伯特·布朗，园艺家彼得·古德，植物画家澳洲人菲迪南·包厄随“调查者”号出航，班克斯领导了这次博物学研究，并为基尤园采集标本。船上备有干燥间和储存标本的专门的舱。威廉·威斯塔尔担任景观画家，约翰·艾伦是矿物学家，天文学家约翰·克罗斯莱从好望角上船。年轻的军官中有船长的弟弟塞缪尔·弗林德斯和年轻的约翰·富兰克林，后者成为著名北极探险家、塔斯马尼亚的总督。东印度公司资助600英镑作为考察船的日常开支。班克斯赠送一套新版大英百科全书等参考书。法国政府也为“调查者”号科学考察发了通行证。

马修·弗林德斯做的海洋观测

“调查者”号驰往澳大利亚途中，在大西洋每日都记录海面温度。但还没到南半球所有的温度计就都摔坏了，只好停止［Flinders (1802)］。在出航时和测绘海岸线时做了几次盐度测量。有些情况下，例如“调查者”号测量大澳大利亚湾时，用盐度试验来找从河流流域注入的淡水。在南澳大利亚的雾湾从漂浮的植物看出可能有河口的征象，测出了海水的比重为1.034，比南印度洋大0.008。（淡水比重为1.0），说明附近有河口。海岸线探险的重要目的之一是找到能深入内地的河口。

还尽可能地在准备好的地点记录潮汐数据。潮汐观测对探险很有用。弗林德斯到了圣彼得岛和圣弗朗西斯岛，还没有人在南方海岸到过更远的地方，他说：

> 从潮汐不大证明这些岛屿附近没有海峡或水道的入口；在富勒湾或圣弗朗西斯岛都察觉不到有什么潮汐，在值得注意的海岸也没有潮升。［(1814) Vol 1, p. 109］

1798年在巴斯海峡东边的富尔诺群岛所做潮汐观测加深了弗林德

斯对存在海峡的信念。他乘“弗朗西斯”号从悉尼去群岛，以从“悉尼湾”号商船沉船中救出人员和货物，他和他的朋友乔治·巴斯共同研究，巴斯曾经沿海岸线远到西港湾，以后乘“诺福克”号通过海峡环绕塔斯马尼亚岛。由于有东向海流，就设想在新南威尔士和范迪门地之间有口门。

> 虽然巴斯海峡海面并不一定有东向海流，但海流并没消失。海员们渡过海峡时发现在富尔诺群岛以东两或三度海流强度很大，由于发现了这个海流，使亨特海军将军直观地认识到新南威尔士与范迪门（塔斯马尼亚）之间有口门。[Flinders（1814，Vol 1. p. 244）]。

弗林德斯1801年出版了《巴斯海峡南岸潮汐资料》的专著，但这仅仅是根据几天观测结果得出的因而是不全面的。

磁罗盘的精确度是当时航海家所关心的，他们观察到不能用磁变来解释令人迷惑的误差。马修·弗林德斯对产生这种误差的可能性进行了系统研究，认为它可能是船甲板上的铁器或罗盘支座中的铁块的局部吸力产生的。做出这个观测后，海军部要他帮助其他海军船长试验局部吸力的效应。弗林德斯在他的《南方大陆之旅》的附录中叙述了他普遍应用了的“操船”实践，即令船艏在罗盘的任意点，读出偏向磁北向的东或西的角度。弗林德斯又提出在罗盘的两边加棒以增加“反吸力”校正误差的方法。在19世纪后半叶在船上加大块未磁化的铁块已成为标准，并称为“弗林德斯棒”。

“调查者”号测绘澳大利亚海岸线

1801年7月18日“调查者”号离开英国，12月到达澳大利亚海岸莱文角，然后在乔治王湾抛锚几个星期。奇特的动植物使博物学家着了迷，立即将蜥蜴、蛇和鸟、袋鼠和鸸鹋带上了船。弗林德斯测绘了以前从未测过的南岸，我们在第二章中已经说过，包丹领导的法国

探险队比他们早到这个大陆，但转向北到帝汶，然后直接驶往范迪门地的港口。

敌对的英、法探险队在坎加鲁岛附近的因康特湾（邂逅）相遇，“地质学家”号上的包丹正沿未标明的南方海岸线向西测绘（见第二章）。两位舰长友好地交往了。弗林德斯介绍他测绘过的南岸的情况，他说他已调查过两个相邻的海湾（他命名为斯潘塞湾和圣文森特湾），确信它们不是将已发现的大陆分成两个（或更多的）大岛的水道。这个可能性曾是法国和英国探险的目的。法国人一直在探查被称为新荷兰的西部是否是一个大岛，或者只是个群岛。翌年包丹派路易·弗雷辛奈乘“卡苏阿林娜”号也去测绘这些浅湾，随后在他1811年画出的图中命名为波拿巴湾和约瑟芬湾。那时英国人对法国在弗林德斯声明有发现权的地方命名感到惊慌和痛苦［霍纳（Horner，1987）法国的考察（The French Reconnaissance）］。

当“调查者”号到达杰克孙湾时，浅吃水和有可收回的龙骨的小船“纳尔孙夫人”号受命向北测绘。在到达沿昆士兰海岸的大堡礁危险海域前一切都好，但“纳尔孙夫人”号在暗礁上损坏，不能继续工作。“调查者”号也受到点损坏，但还是继续环绕约克角半岛，相当艰苦地越过了托雷斯海峡的浅滩、礁石和岛屿进人卡奔塔利亚湾。精确地测绘了这一海域希望能找到通往大陆内部的水道，但海岸线附近越来越浅，陆地环绕着海湾。继续详细测绘新荷兰的西部海岸线后转弯到荷兰帝汶殖民地的古邦。因为“调查者”号在险礁密布的海域测绘新荷兰的西北海岸线中受到严重损坏，这时不得不中止，决定进行必要的修理，并补充新鲜食品，然后直接经过印度洋回杰克孙港，回程又是两个月。他们完成了第一次环大陆航行。船上发生病号，在海上死了3个人，在杰克孙港又死了4个人。测绘工作中在后来命名为“调查者”的岛上发生惨剧，损失了一个小艇的人，用灾祸角的名字记念这一事件。

当1803年2月在北澳大利亚安纳姆地海岸时，弗林德斯遇到西里伯斯（苏拉威西）群岛南部马加撒的一队渔船，他们常常来这个海域采集中国人珍视的海参，将其干品销往中国。这些岛民对季风的变

化很了解，能够成功地往来澳大利亚与中国之间，正像弗林德斯所说："不需要海图也不需要天文观测"。他们只有荷兰制造的小的便携罗盘。同年4月，在这个大陆西北海岸的几个岛屿上，包丹探险队也遇见马加撒船队，这是他们夏季采晒海参的鱼汛。

"调查者"号回到悉尼时，被判定"不适于出海"，"需要进行在澳大利亚做不到的大修"，弗林德斯被迫推迟了对澳大利亚西北海岸的调查，他要回英国换船。同年8月又向西北方航行了，这次他是"海豚"号上的一名乘客，这艘船打算通过托雷斯海峡，经过好望角去英国，这条航线可以避免在南大洋盛行的咆哮西风带和同样危险的向东绕过多风暴的合恩角的另一条航线。但是"海豚"号在大堡礁沉没了，弗林德斯和几个人乘小艇又回到了悉尼。他冒险指挥了载重量仅有29吨的在殖民地建造的"堪伯兰"号再度航行。

他的厄运还没有结束，在毛里求斯的伊尔德法兰西被法国总督扣留了。这时英、法之间又爆发了战争。弗林德斯带的"调查者"号科考护照在他这次乘"堪伯兰"号到港时无效。他被指责为间谍，在岛上关了6年半，1810年10月才回到英国。其后4年他编纂了《澳大利亚图集》和名为《南方大陆之旅》的游记。他1814年7月逝世时，书还在出版中。弗林德斯的绘图质量传诵很久，往来于澳大利亚海域的海员尤其喜欢他的海图。《澳大利亚指南第一卷》是弗林德斯的航行指南。他的南大陆（或澳大利亚）总图中把新大陆命名为"澳大利亚"。他的成就的全面叙述见海洋史学家G. 因格尔顿的精美的书籍《马修·弗林德斯——航海家兼地图学家（1986)》。

弗林德斯的海流观测

库克曾与弗林德斯合作观测沿新南威尔士海岸南流的一支海流，库克说：

> 这是很难解释的事实，盛行风夏季从东南吹来，冬季从西北方向来，而在东海岸热带以外部分海流总是向南流的，

> 流速有时达每小时 2 海里。海流最强处远在海岸平均线之外，其范围可在陆地之外 4 里格至 20 里格之间。再往外没有恒定的海流，再靠岸，尤其在浅滩中，海流呈漩涡状向北，流速每小时 1/4 海里，南半海流最强。[（1814） Vol 2, p. 283]

弗林德斯记录的西澳大利亚西南海岸的表面海流观测［（1814） Vol 1, p. 241］也有历史意义。1801 年 12 月，"调查者" 号出了好望角后，到了新荷兰的莱文角，沿南海岸往乔治王湾锚地时，1791 年遇见乔治·温哥华船长。他说："当船开进南海岸时，我发现海流方向为北纬 70°，平均速度为每日 27 海里。" 1803 年 5 月弗林德斯环绕大陆航行从北面绕过莱文角时，他接着写道：

> 从莱文角的经度经过乔治王湾时，海流向东，每日 27 海里，与以前 12 月份几乎一样。温哥华船长和当特尔卡斯托将军没有说清楚这个海流，但他们可能在南岸这一部分都测到东向的流。

"调查者" 号似乎遇到了温暖的莱文流的东向延伸。仅仅到了这个世纪才清楚地发现这个海流向南流，靠近西澳大利亚南部海岸，位于较冷的向北流的海流内，构成南印度洋流涡。这支沿大洋盆东边界向极方向的流并不是典型的。人们认为它可能是赤道水被印尼群岛强迫的结果，随着海面在西北陆架被抬升。它输送的温暖、低盐水使热带海洋动物区系在热带以外的西南澳大利亚沿岸发育。在莱文角海流转向东，沿海岸线到达大澳大利亚湾，越过乔治王湾，有些季节至少到达埃斯佩兰斯。这些资料是利用 20 世纪的技术，包括卫星遥感和跟踪自由漂流浮标得到的［见 Jones and Jones（1996）］。

菲力普·派克·金所做的大陆测绘

继续弗林德斯测绘工作的是澳大利亚菲力普·吉德莱·金总督的儿子菲力普·派克·金，他于1818—1822年间5次主要在北方和西方海域进行更详尽的测绘。他是最早出生在澳大利亚人之一（1791年在诺福克岛），从5岁起在英国的著名捕鲸公司的塞缪尔·恩德比监护下受教育，并在朴次茅斯皇家海洋研究院学习数学、天文学和测绘学。他被选中去考察和测绘新荷兰的这部分海岸线时，金不像他的前辈弗林德斯那样没有带家属，1817年他带着他的新娘哈莉埃特（莱斯布利治）去悉尼。海军派给他搞测绘的军官，而经费则是殖民部拨给的。麦夸里总督为这次任务买了印度造的载重量83吨独桅帆船"美人鱼"号，单桅帆船"巴瑟斯特"号予以协助。1825年出版的金的地图有8张海岸线图，10张港口图。这些图虽不算多，但英格尔顿（1944）认为有"太平洋此前航海家从未达到的水平"。第二年出版金的《1818年至1822年间所做的澳大利亚热带和西岸测绘报告》，树立了"对蹠大陆"（指与欧洲位于地球相对面的澳大利亚）自然界敏锐观察者的名声。他被选为英国皇家学会和伦敦地图学会的会员。

嗣后，金当了4年"探险"号和"比格尔"号船长，在南美海域进行水文调查，而他的妻子哈莉埃特管理他在新南威尔士置办的产业。1832年从海上生涯退休后，他过着田园生活。他对科学的兴趣使他与另几位同对自然科学感兴趣的殖民者关系较好，如亚历山大和威廉·夏普·麦克莱（我们后面还要提到他）、地质学家莱佛伦德. W. B克拉克、总测绘师托马斯·米切尔和1831—1847年负责帕拉马塔观察台的詹姆斯·邓禄普。为了他的科学兴趣，金最初在悉尼以西的领地上建了私人观象台，后来他当了澳大利亚农业公司的专员后，在驻地斯蒂芬港塔黎也建了一座。他当了多年澳大利亚博物院的托管人。北半球来探险的访问科学家常带介绍信给这位殖民地科学的协调人［Branagan（1985）］。

随金一同测绘澳大利亚海岸线的有博物学家阿兰·肯宁汉，他曾被任命为伦敦基尤园的专业采集人。重新重视植物学反映了约瑟夫·班克斯爵士的兴趣。水文工作是这些航次的主要任务，当然“美人鱼”号的军官最感兴趣的是观察、记录对瞧大陆的奇异的动植物和当地居民的生活方式。金收集了地质和磁学数据，但是在制图家金或弗林德斯的忙碌的日程中没有取得多少物理海洋学的数据。他们的海岸线测绘的主要目的是确定可供进入大陆内地的港口和水道，我们看到，盐度观测有时可作为主要河流存在的证明。

金和弗林德斯两人都观测到东澳大利亚海流的性质，这是新南威尔士外海最重要的海洋的特点，但是弄清楚它的范围是多年以后的事了。在弗林德斯和金之间，还要注意杰弗利少校。

查理·杰弗利和“袋鼠”号

金在“美人鱼”号上工作之前，1813 年海军测绘舰“袋鼠”号在查理·杰弗利少校指挥下应麦夸里总督的要求建殖民地。派给“袋鼠”号很多任务，如遣送流放犯或囚犯，为殖民地提供给养等。杰弗利少校在 1814—1817 年间来往悉尼与塔斯马尼亚间多次。来回霍巴特所费的时间比较长。

赖特（1983）描述了杰弗利几个航次的宽松环境，和麦夸里总督对他长期不在的愤怒，总督有一次特别禁止他带妻子上“袋鼠”号。最后麦夸里要求这艘船回英国，用激烈的语言说海军军官无能，“是战舰的船长，乐于去纽卡斯尔装煤、石灰和木料，或去霍克斯伯里运粮。”这个殖民地非常缺少日常勤务的舰船，“袋鼠”号没有空闲搞测绘，也许总督没有看到这一工作的紧迫性。

然而杰弗利对沿岸流的观测发现它离开新南威尔士的东南岸，其方向的变化已载入出版的航海指南中。克鲁森斯特恩在 1824 年《太平洋地图》中附有文字说明。A. K. 约翰斯敦 1848 年的《物理地图》（基于海因里希·伯格豪斯（1845）的物理地图）中尊重杰弗利的发现，把这支海流命名为“新南威尔士往复流”，箭头标明冬季流向南，

夏季向北。现在清楚了杰弗利可能是在不同的时间遇见了东澳大利亚海流流涡的不同部分，或者是在主要南流边界流内侧向北流的较弱的沿岸逆流。

在18世纪的早期，1855年前，英国海军的大部分舰船在帮助新南威尔士总督完成东印度公司的任务。这些舰船在巡逻时做了一些小规模的测绘，建立更多的殖民地。在菲力普·派克·金的测绘以后，1823—1837年的14年间没有派英国测绘船连续地在澳大利亚海域工作。

罗伯特·菲茨罗伊对海洋学的贡献

1836年罗伯特·菲茨罗伊船长率载重量235吨方帆双桅船“比格尔”号在5年远航的归途中访问了澳大利亚水域，现在众所周知它对查尔斯·达尔文发现的物竞天择的进化论所起的重要作用。这次英国调查的焦点是南美海岸线与南美诸国的贸易，但是还有一项重要使命是向西环绕世界24个时区。在澳洲的几个站位有群岛湾、新西兰、杰克孙港、霍巴特市和乔治王湾，这些站的位置现在都已确认。

“比格尔”号绕过塔希提和新西兰跨过太平洋，于1836年1月到达杰克孙港。根据我们现在对东澳大利亚海流的漩涡运动的知识，看看当时菲茨罗伊对横跨塔斯曼海时遇到的变换方向的海流的描写是很有意思的。

> 后来，我们去杰克孙港时，碰到从向北到向南东方向变化的海流，流速约为每天10海里，由海水温度很容易判断我们位于海流内，流从北方来时，水温约72°F。当海流从南方来时，海面下1英尺的温度只有67°F。我应当指出，尽管我没有做到，各处都可用温度计指示海流的流速，但是不能确指是否靠近陆地。[Fitzroy and King (1839) Vol 2 p. 620]

1830年前后海面温度观测值的可信度是值得注意的。“比格尔”

号航次中经常做温度观测，有时上午9时或10时，有时中午或下午4时，但没有像法国历次太平洋探险在这个海域所做的那样系统。

经过印度洋时，菲茨罗伊于4月停靠科科斯（基灵）群岛做测绘，附带用测深法研究深海环礁的珊瑚礁结构。珊瑚环礁的形成是达尔文很感兴趣的地质问题。与海温测量同样感兴趣的是海面以下温度的观测，在南纬12°12′2 178英尺（664米）做的单次温度探测得到温度读数为45°F（7.2℃），这次没有记录海面温度。

波高的记述

1839年出版了英国皇家航船“冒险”号和“比格尔”号1826年至1836年10年来的《考察南美海域报告》。菲力普·派克·金负责第1卷，但他已在澳大利亚归隐田园，他把出版工作让给了菲茨罗伊。查尔斯·达尔文的科学日记是第3卷的基础，这一卷是众所周知的。第2卷是菲茨罗伊著的，涵盖《比格尔》号1831—1836年的旅程，还包括摘自航海日记的杂项附录和他对很多问题的观点。其中之一是对波高的记述。

> 这里指的波高是相对于海水产生的船的颠簸摇摆的。只在深而广的大洋里才有大浪。我曾见到的大浪波高不超过60英尺（相邻两浪峰谷间的垂直水位差）。但在开阔海洋中有风暴时一般波高为20~30英尺。我知道，也有兴趣地听到一些人坚信，他们幸运地没有见过真正的大浪——海面上升没有超过12英尺——或15英尺——或波峰至波长垂直高度不超过30英尺。

其后，直到现在航海家对船在跨过大洋时可能遇到的波高都是很感兴趣的。迪蒙·迪维尔声称他遇到过80~100英尺的巨浪；菲茨罗伊估计见到的最高的波浪至少有60英尺，都是令探险报告的读者心存畏惧的。

菲茨罗伊在“比格尔”号远航后没有再做调查工作。他当过显要的议员和新西兰总督，1854年在当年成立的商务部所属的气象局当局长，1851年当选为英国皇家学会院士。菲茨罗伊在他的历任职务的贡献和在海洋气象学的开创性工作，全部反映在他的传记作者H. C. L. 梅乐什写的传记中。

1831—1836年“比格尔”号远航也是首次用目测估测蒲福风级的实践。蒲福用数字表示风级，在他的船舶气象日记中的文字气象特征在那个年代用于英国海军，1829—1854年他担任英国海军水文学的工作，领导菲茨罗伊把蒲氏风级用于“比格尔”号。1838年英国海军普遍用蒲福风级，不久在1853年布鲁塞尔国际气象会议上为国际所采用，至今仍在应用。

1853年布鲁塞尔国际会议

几十年来海上气象观测一直在进行，而且由欧洲国家的水文部门组织。恰尔诺克（1972）指出，英国皇家学会建议“收集海上观测数据，包括气压、大气温度和湿度、海水温度、海流、大风、雷暴、极光、流量和磁变”。受1853年布鲁塞尔国际会议推动，1854年英国气象局的成立标志了对海洋气象的新的重视。在这次会议上英国海军观象台的马修·方丹·毛利少校说服沿海国家在会上公布风、流合作观测的标准化的实际值。此举扩大了风流图的范围和准确度，毛利自1847年即从美国海军的图和仪器库中选编此图。

这是为海洋科学的互利而进行的国际合作新纪元。

1829—1854年的水文学家弗朗西斯·蒲福爵士

罗伯特·菲茨罗伊入选英国皇家学会和被任命为气象统计官都是水文学家弗朗西斯·蒲福支持的，他这时正达到仕途的顶峰。

18世纪20～50年代英国海军部在弗朗西斯·蒲福（图4.1）领导下，海军测绘局的军官在世界各大洋开展工作，负责发布海军潮汐

表的蒲福对海洋科学的发展给予了强有力的支持。首个潮汐表出现在1833年，给出选定的英国港口出现高水位的时间。蒲福鼓励收集更多的潮汐数据，（从英国海岸警卫海军军官，到欧洲和美洲当局），支持威廉·惠威尔博士的潮汐理论研究。



图4.1　1848年用银版摄影得到的英国海军1829—1854年的水文学家弗朗西斯·蒲福像。他任职阶段，英国海军在全世界进行调查，用各种手段促进科学发展。海况称为蒲福风级就是纪念他的。

从此海洋潮汐表和潮汐理论的范围扩展了。我们注意到蒲福部下的海军军官们在测绘澳大利亚海岸线时，记录了建立地理站点的潮汐资料，低低潮的最低水位对在港湾内航行具有特别作用。

蒲福风级表

蒲福风级	风速（海里/小时）	风的类别	海面征象
0	<1	无风	海面平滑如镜
1	1～3	软风	海面有小波纹，无白色波顶
2	4～7	轻风	小波纹，波顶开始破碎
3	8～12	微风	波顶泡沫透明像玻璃，间或见到白色波浪
4	13～18	和风	波长较大；发白区多
5	19～24	清风	中浪；白的碎浪多；呼啸声不断
6	25～31	强风	大浪；波浪白沫飞布海面
7	32～J8	疾风	海面像由波浪堆积而成，风将泡沫吹成纤维状
8	39～46	大风	波高与波峰不断增加
9	47～54	烈风	泡沫纤维更为浓密
10	55～63	狂风	高浪成长形突出，纤维状泡沫成片状
11	64～75	暴风	高浪，船在海上有时被浪所蔽
12	75 以上	飓风	海面被纤维状泡沫所覆盖；空气中充满水珠（激溅浪花）

在蒲福的支持下出版了各种航海书籍和先进的海图。1832 年的《航海大全》；1835 年的《海员须知》、《更正海军海图和对新航海障碍的警示》；1849 年（蒲福 80 岁退休之几年前）的《科学调查手册》（约翰．F. W. 赫歇尔爵士编），著名科学家为之撰写章节，提供航海、商船、海洋技术，为科学发展作出贡献。

作为地质学会、皇家学会、天文学会的院士和皇家地理学会的创建人，蒲福是当代领先的科学家，1850 年他在《水文调查总则》中提出了海洋水文调查规范：

> 水文调查者在了解较少的海洋中工作时应随时找一切机会为世界的科学知识添砖加瓦。[Ritchie (1967) 摘录]

蒲福任职末期，经济原因使他的部门缩减深水中的一些调查。

蒲福年代的海洋科学

随着环绕澳大利亚海岸英国殖民地的大量建立，沿岸航行也更加频繁，在只有弗林德斯和金测绘过的海域里存在触礁的危险。巴斯海峡两岸菲利浦港和达尔兰浦尔港建立殖民地和在托雷斯海峡西入口附近建立埃辛顿港之时，迫切需要测绘附近的航道。同时，1837 年“比格尔”号从南美海域归来时，被派往澳大利亚在约翰·克利门次·威克汉姆指挥下精确地测绘托雷斯海峡和巴斯海峡，这两条海峡都具有危险的特点，而且有多艘沉船。“比格尔”号上除威克汉姆船长外，还有曾在菲茨罗伊船长麾下服役过的多位军官，如约翰·洛特·斯托克斯少校、本雅明·拜诺军医。这位医生为采集博物而全副装备，在“比格尔”号上服役多年，从与查尔斯·达尔文的合作中获益匪浅。

“比格尔”号首先派往澳大利亚 5 个月，测绘了西北海岸的 300 海里，检验了丹皮尔的在布卢姆附近可能有水道的假说。威克汉姆船长带了一位斯万河的土著人，想与当地人交谈，但是失败了。1839 年“比格尔”号驶往埃辛顿港的新殖民地，靠近澳大利亚北部现在的达尔文市。斯托克斯少校在维多利亚河探险时，被当地人用矛刺成重伤。这些次探险的目的是考察一些大河的河口，希望能溯河进入内地。军医本雅明·拜诺和托马斯·泰特按当时海军军医的传统，收集博物标本，特别是鸟类和有袋类。

海军对“比格尔”号澳大利亚海域测绘的指示反映了蒲福对测绘活动的建议：

> 在这样一个内容广泛而路途遥远的调查中，很多调研课题虽然不一定是严格涉海的，也应该引起你的注意，虽然你在一个地方只停留短暂的时间，你常会为没有详尽了解而感到遗憾，但是你应该在到达时尽量收集一切有用的信息。你在这方面的榜样会激励你所指挥的年轻军官的努力，通过他们甚至可能对海军未来的发展产生良好的影响。［Stokes (1846) p. 21］

蒲福特别注意观测北方水域颇为丰富的珊瑚礁，以弄清珊瑚礁的形成这类问题。而且他指出大多数海军调查船上收集大气和海水表面温度的工作在目前任务中不是必需的，需要耗费时间和人力：

> 至今所有调查船的职责之一是准确在9点钟的两个极大和3点钟的两个极小记录气压计的指示，以及上述周期和其日夜极大、极小值温度计的指示，并连续比较海水和大气的温度。这样做是考虑有助于得到从世界各处收集的真实数据，为将来的工作者取得某些你意想不到的发现，或引导一些重要的思想，从现在未被重视的状态中发展新的科学。占用这些军官时间的是能准确纯熟地操作仪器，记录有用的气象数据，而现在还不确知它们将来的用途，只需要一天记两次气压表，记下温度表的极值，只有在你由于某些不可预见的理由长久停在一个港口时，系统地做这些观测才可能是最有益的。[Stokes (1846) p. 22]

“连续地比较海水和大气的温度”的记录并不是澳大利亚海域水文调查时的一项职责。可能要等几十年之后才会把兴趣从海面观测移到在开阔大洋研究海面以下的状况来。蒲福的指南中还有一些当前关切的问题：

> (1) 赤道海水平均温度，或者大概在太阳直射时，不管在大西洋，还是在太平洋，船舶只要在这种条件下就应该做观测，应避免陆地的影响，在某一固定深度，例如50英寻和10英寻以及海面；后一项应在夜间对应的时刻重复观测。
>
> (2) 系统连续地收集良好的观测数据，以做出全球的等温线，如上所述在某一固定深度做。
>
> (3) 你将登陆的大岛上可能有大量值得采集的动植物、地质构造和结构，应当根据调查的真实目的详细调研这些问题。观测者看来不可避免地发现若干事实，而军医无疑也会

关心调查的科学观象……

水文学家 F. 蒲福
1837 年 6 月 8 日
[Stokes (1846) p. 23]

“比格尔”号花了 6 年在澳大利亚海域做调查。1847 年威克汉姆上尉在家养病，由斯托克斯上尉接替。1842 年在巴斯海峡的工作有塔斯马尼亚总督约翰·富兰克林的协助，向前推进了一步。他提供了“凡西塔特”号帮忙。1843 年在斯托克斯名下发表的《巴斯海峡海图》，在墨尔本繁荣起来的年代里为航运起了无可估量的作用。

19 世纪 40 年代一些平民科学家在“飞虫”号和“荆棘”号上调查了大堡礁外侧，其中有地质学家比特·朱克斯，动物学家约翰·麦克吉利弗赖，他们被得比伯爵雇用。艺术家梅尔维尔也为考察服务。4 年中，他们采集了成千的标本，充实了大英博物馆的藏品。朱克斯是适应荆棘丛生环境的天才。尽管科学家们努力与土著保持友好，但一位水手还是死于澳大利亚大陆居民的长矛。朱克斯（1847）“飞虫”号航次报告最出色的是对大陆和新几内亚沿岸岛屿的土著有创意的观察。

我们必须了解英国海军部这个阶段派出的另一支考察世界大洋水体环流的队伍的成绩，这就是詹姆斯·克拉克·罗斯所领导的南极海域探险。

詹姆斯·克拉克·罗斯和“平均温度圈”

1839 年至 1843 年间一支重要的英国科学考察队派往南极海域探测大洋深处，这个航次的主要任务是研究地磁和确定南磁极的位置，这对水文和航海都有作用。深入地研究磁学发轫于 19 世纪 30 年代，其中心在德国。靠格丁根观象台起家的弗雷德里希·高斯根据德国、瑞典和意大利的台站观测到的磁学现象进行研究。亚历山大·冯·洪堡是热心的参与人，他 1826 年写信给英国气象学会主席苏塞克斯公爵，督促英国在其“日不没国”适当地点建立观象台，参加全球性的

调查。学会的物理和气象联合委员会向政府建议了这一行动，并装备海军舰船进行南大洋探险 [Humboldt (1849) Vol p. 186]。英国科学发展协会1838年得到法国物理学家弗朗索瓦·亚拉果的关照，需要在殖民地成立很多磁观测站，作为法国已在它的海外领地建站的补充，此举又是一个促进 [Savours and McConnell (1982)]。磁变线的资料具有重要的实际意义，特别是在捕鲸船频繁出没的高纬度区，那里天常常很黑，罗盘误差又很大。地磁极随时间运动（每年几千米），先进的欧洲观象台测出了这个磁变。

1839年英国海军同意建立4个观象站：分别是大西洋中的圣赫勒拿岛、南非的好望角、塔斯马尼亚的霍巴特和加拿大的多伦多，参加常规的国际观测计划。1839年9月英国派载重量370吨的"阴阳界"号和载重量349吨的"恐怖"号去广阔的岛屿海域进行新的探险，建立新的南方观测站。这两艘舰号称"炸弹"，用两层板制造，能耐受10英寸臼炮发射的震动，被选用于在南极冰海中工作，它的水密舱壁有能力抵御冰山撞击不致进水。

这次探险的领导者是詹姆斯·克拉克·罗斯上尉（后来当上了海军将军），他在北极航行时积累了经验。他跟他的叔叔，约翰·罗斯上尉和W. E. 派里上校几次参加寻找环绕美洲的北方航线探险，而且荣膺1839年确定北磁极位于距地理北极约100海里的布西亚半岛的盛名。他也是熟练的动物学家。"恐怖"号的船长是弗朗西斯. R. M. 克罗西埃，他曾参加詹姆斯·罗斯的首个北极航次。参与探险的军医和其助手也当上了博物学家。他们曾在哈斯拉海军医院学习博物学。一位年轻博物学家J. D. 胡克撰写了六卷本有关植物学探险报告，后来接替他父亲当上著名的基尤园的主任。

深海考察和量测

在航行中，罗斯以最大毅力系统地测量了海面以下的海水温度。没有像此前法国和俄国的探险为商业或政治要求所累，在这次纯粹科学的考察中，他在南纬33°和南纬77°间的30多个站位预定深度做了

很多次剖面测量。除了1次在南大西洋、3次在塔斯曼海以外，所有剖面测量都是在南大洋做的。在超过1 000米的深度，大多数站位4个预定深度，而有些站位5个或6个预定深度，还有一个站位（塔斯曼海）8个预定深度。在最高纬度测出的剖面发现温度随深度轻微上升，这在库克的第二航次在同一海域100英寻深也已发现过。

在南纬40°和南纬60°间罗斯的剖面测量记录的温度在39.5°F～40°F（4.2～4.4℃）之间，相当稳定，直到2 000米以上深度，这一数据与广泛持有的概念（海水与淡水一样，在密度最大时的温度为4℃左右，因此海洋最深层也应为此温度）很好地吻合。在所有的深海量测中罗斯没有测到更低的温度。欧洲大陆科学家有些怀疑地接受了他记录的大洋深度最低为39.5°F～40°F（4.2～4.4℃）的一致结果。比奥（1849）质疑此结果与“金星”号及几次北极航次的观测不一致。很多年后，特别是约瑟夫·普雷斯威奇（1875）指出罗斯的数据需要作压力修正，因为他用的极大极小温度计没有必要的水压保护。现在可以断定，英国探险队没有得到当时物理学家的合用的仪器[Deacon（1968）]。欧洲楞次和派罗的实验已证明压力对温度计准确度有影响。而他们1833年发表在圣彼得堡的文章似乎没有为英国和美国所注意（见第三章）。

他们在若干个南方高纬度站位测量的海面温度在4℃左右，罗斯的剖面探测发现在各深度的温度差均小于1℃。他认为在较冷海域可能存在一个从海面到海底海水有约4℃的均匀温度的海区。罗斯积极地找到并划定了这个均匀温度区或圈：

> 当我们快要到达从我们以前的观测中预计应到了海洋均匀温度圈的纬度时，我们通过实验在每一次都能确认这一在物理地理学中很重要的点，根据我们的预计，我们是第13次找到均匀温圈了。1841年12月，在南纬55°18′，西经149°20′。[Ross（1847）Vol 2，p. 140]

罗斯检验了“阴阳界”号和“恐怖”号跨过他定义为均匀温度

圈的南纬56°的6个点：

> 因此证实了这个纬度是环绕地球的带或圈，其全部深度海水测得的平均温度形成介于海洋两大温度不同的洋盆之间的边界或一种背景。[（1847）Vol 2 p. 375]

在罗斯调查过的南大洋海域，他误认为一直到底海水都是均匀的4℃，现在看来对应于定义为南极辐合带的海域。迪肯绘出的辐合带（1934，1963），可以观测到在带以北，冷的极地水沉到较温暖的海水底下，发生下沉现象的纬度也可以由深处和海底流的水位变化确定。这一环绕南极洲海域的位置从大西洋的南纬50°以北变到东太平洋的南纬60°以南，既对应于气候带的边界，又对应于南方海域鸟类和海洋动物的分布边界。实际上稳定是其显著的特点。如果罗斯记录的每1 000米深减去1℃以补偿他所用的开式温度计的压力效应，迪肯认为［（1963）p. 289］罗斯发现的温度结构与现在确定的辐合带相近，而且“其一致证明在过去100年内辐合带没有移动”。

罗斯领导的“阴阳界”号和“恐怖”号探险队在物理科学方面做了大量工作。迪肯评论说：“关于海洋学工作，罗斯考虑得不周到，只能说还是做了别人大多数都忽略了的研究工作。”［（1971）p. 283］差不多在英国南极探险的同一时期，法国和美国也在同一海域探险，查尔斯·威尔克斯少校（见第五章）领导的美国探险队也用了开式极大极小温度计作水下观测。他没有观测到与没有人反对的环绕南纬56°纬度有39.5°F（4.2℃）均匀水圈的理论有矛盾的数据。威尔克斯（1848）也支持海洋深处有密度最大点的平均温度39.5°F（4.2℃）的学说，而反对楞次提出的更低温度的学说。

气候变化

19世纪科学家思考的一个问题是世界的气候是否发生变化。罗斯想到了这个问题，他写道：

> 南大洋的平均温度圈是自然界的标准点，如果准确地测定了的话，可以提供给未来的哲学家以确认我们居住的地球温度是否变化，在这个期间变化了多少的数据。[（1847）Vol 2 p. 376]

考虑到重新提出的迫切的全球气候变化问题和广泛研究的“温室效应”的潜在影响问题，罗斯的“平均温度圈”虽然没有证实，还是可能有他设想的用途，还有“无生命区”假说，在海洋学的先驱阶段形成，后来被放弃了。

无生命区

19 世纪有个接受面很广的概念，认为在无光低温的大洋深处不可能存在任何生命，任何生物都不能抵御这一深度的巨大水压。设想的无生命区大约在 300 英寻以深。博物学家爱德华·福布斯在 19 世纪 40 年代［Deacon（1971）p. 381］划出地中海中各种生物种的深度极限。其他博物学家也对这个假说提出确证。然而应当指出在那个时代罗斯提出过反对的例证。他在更深的海底沉积物中发现了“深海蛤”。他研究了他叔叔约翰·罗斯爵士早先在北半球高纬度进行的探险中从深海采集的生物后，发表了以下意见：

> 虽然与博物学家们的一般概念相反，在大深度海底捞上海底泥、石时，我确信无疑可能混有生物，这一深度的极大压力看来并没有影响这些生物，迄今为止我们还不能确定 1 000 英寻以上的极限深度，但从那个深度随泥带上若干种软体动物。[Ross（1847）Vol 1 p. 203]

广泛分布的黑暗、无生命、4℃ 的海水充斥大洋深处的概念慢慢地被人抛弃。我们已经提到的透光层试验的目的之一也是研究海洋生物存在的可能范围。自然界海底的整个图像在 19 世纪的英国“挑战

者”号考察中才更为清楚，我们在第六章中再予讨论。

塔斯马尼亚的潮汐基准

罗斯在“阴阳界”号和“恐怖”号探险总结中，注意到1841年7月刻在塔斯马尼亚流放地亚瑟港附近戴德岛北岸的岩石表面上表示平均海平面的基准。罗斯在富兰克林总督陪同下赴亚瑟港与副助理总典狱长T. J. 朗普里埃讨论，他做了很长时间的潮汐记录。罗斯提到（Vol 2，p. 23）洪堡在给明托爵士的信中曾建议在各地建立标记表示平均海平面。这封信他出发探险时就收到了，可是直到他从南极回来也没有收到反应，否则他就会在“凯尔盖朗地的岩石上或维多利亚地的某个部分”立上这种标记。亚瑟港的标记和它上面的宽箭头至今可见。1998年在它旁边安装了现代的声学验潮仪，以检验海平面随时间的变化，验潮仪在3年内每隔6分钟连续记录一次海平面，这就可以与150年前朗普里埃人工记录的结果相比较了，布鲁斯·哈门（1985）的论文中提到塔斯马尼亚的历史性记录，后来载人了伦敦皇家学会的档案中。

当然验潮仪测量相对于陆地的海平面，它本身的高度随时间在变化。现代科学家考虑到各种因素，自塔斯马尼亚基准建立以来，由于海洋体积增长其平均海平面上升每年为正1.0毫米或负0.3毫米。这个结果与根据世界各处验潮仪记录估计20世纪全球平均海平面每年上升1～2毫米的结果基本一致。海平面上升是叠加在高潮之上的。现在的标记值是亨特等（2003）测到的，那次探险还在福克兰（马尔维纳斯）群岛的斯坦利港（阿根廷港）附近建立了两个观测潮汐的基准点，也是安放在海洋平均海平面以上预先规定的高程处。

大洋有多深?

詹姆斯·克拉克·罗斯也热心于深海深度探测和海底探测。他最早在船上带了3 600英寻长的测深缆，装有旋转接头，以备做此探测，

绳缆卷筒在海况好时转运到小艇上，麻绳带着76磅的铅锤能自由地下放（图4.2）。这种测深是耗时的工作，特别对2 000英寻或更深的深度，而且要求海况很好。1840年1月罗斯在大西洋测到2 425英寻深，现在判断相当接近于20世纪在该点测得值2 100英寻。1843年3月罗斯在威德尔海4 000英寻抛下了绳子，在该点没有明显触底感觉，在地图上标为罗斯深渊，20世纪初证实只有2 660英寻深度。产生差异的原因那时就由海军的研究者发现了，观测绳子上相继100英寻记号之间经过的时间间隔很难决定触底时间。虽然这是罗斯想出的有用的方法，但并不是可靠的方法。如果没有注意到时间间隔的改变，就像这次所发生的一样，绳子就可能被海底流冲跑而给出错误读数。那个时代除了罗斯以外别的海洋调查者也犯过同样错误。19世纪50年代报道过大于7 000英寻和8 000英寻的深度测量值，实际上那是在大洋海沟中用各种方式测出的极值，但是在最深的马里亚纳海沟测深值才刚刚超过6 000英寻。这些误差只能用先进技术改正，这一工作

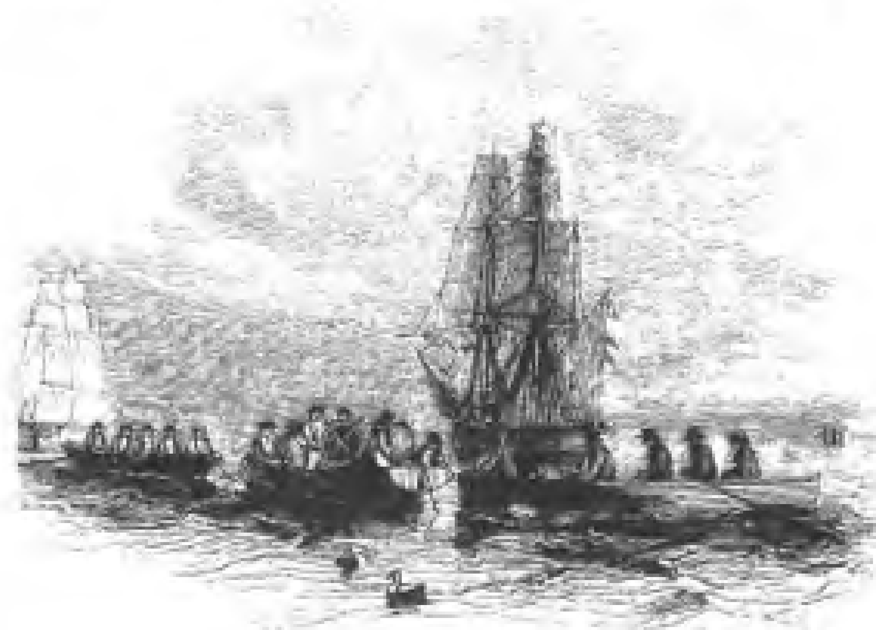


图4.2　1839—1842年詹姆斯·克拉克·罗斯领导的英国南极探险中英国皇家海军"阴阳界"号和"恐怖"号的小艇上所做的深度探测。这是艰苦的工作，要用大卷筒把几千米的麻绳放入海中。为完成此任务，罗斯在船舷上备有带旋转接头的测深缆。

在19世纪末期海底电缆电极铺设时才做得到。

南磁极位置的确定

1841年1月"阴阳界"号和"恐怖"号在南纬69°15′破冰进入罗斯海。詹姆斯·克拉克·罗斯要找到南磁极，首次打破南极冰原，发现大陆。

探险队到达最南时记录的纬度是南纬78°04′，并发现了大陆，命名为维多利亚地。两旁高耸的火山名为埃里伯斯（阴阳界）峰和特勒（恐怖）峰。他们向岸航行了450海里，受阻于高出海平面150英尺的垂直的冰崖。罗斯不可能从海上到达南磁极，但是他宣称"他根据从很多方向做的大量观测非常准确地找到了南磁极的位置。"1841年罗斯给出的南磁极位置是南纬75°05′，东经154°08′（直到1909年1月欧内斯特·沙克尔顿的"猎人"号探险中埃奇沃思·戴维和道格拉斯·莫森才坐雪橇到达，那时它已向东北移动了300千米，从那时起南磁极每年向西北漂流13千米）。

相继的两个南半球夏季"阴阳界"号和"恐怖"号又进入南极洲的高纬度。1841年12月他们从新西兰的群岛湾向南进入罗斯海，但是航线不得不缩短，因为海况不如前一年好。翌年夏季他们利用福克兰群岛作为基地考察威德尔海，他们在预计地点以北遇见冰，1月被困在冰块中达1周。3月取道开普顿、圣赫勒拿岛返航，1843年9月14日回到福克斯通。长达3年之久的航次带回丰富的博物、气象、地磁和海洋学资料，政府资助了旅行记和科学报告的出版。

英国海军的状况

极据当时报道，"阴阳界"号和"恐怖"号供应充分，但以现代标准衡量船上的居住备件是很艰苦的。19世纪因为比较注意卫生和饮食减少了疾病的侵袭，但一般的水兵的生活仍然很苦，薪金低、饮食差，升迁的机会也很少。在海上航行中，军官和科学家的生活与食住

在底舱的水兵差别悬殊。

19世纪早期，大部分时间英、法在交战，迫切需要征兵加入海军。英帝国用抓壮丁来搜罗兵源。据说著名的发明家詹姆斯·瓦特住在伦敦时因为怕被抓走，3年独自不敢出户。在这个时代及随后，英国海军巡逻贩奴海域时，正规英国海军享受不到自由人的待遇，他们因小过而受责罚，甚至因擅离职守而被处死。重犯被判吊在帆桁上，船上的“军事审判”也不能说是“公平法庭”，水兵常常被下级军官殴打，以使他们“勤奋工作”，靠港时因怕水兵开小差而不准离船。1853年后英国海军的生活条件有若干改善，停止抓壮丁，而吸引人当兵。1857年实行雇佣军制度，1860年废止吊人，但直到1880年还允许鞭笞。

在维多利亚女王时期英国海军横行世界，建立“日不没国”。水道部继续在遥远的海域为各国舰船的安全航行绘制海图。疾病减少了，但舰上的军医常兼作博物学家，工作依然很忙。这双重任务吸引了年轻的托马斯·赫胥黎，他从哈斯拉的海军学校毕业后1847年上了“响尾蛇”号舰在澳大利亚海域考察。他积极参加未测绘过的海岸线的考察，与“野蛮人及半开化的人”会面。他在晚年是这样描写女王的军舰在热带炎热中的粗砺生活的：“蓝天作幕，绳床当铺，可可和压缩饼干当早点”，这种生活是“生存的最低需要”，但反过来对他个人来说，是“极有价值的”。

欧文·斯坦利对波浪大小所做的实验

当图4.3所示的载重量500吨快速炮帆舰“响尾蛇”号于1847年中到达澳大利亚海域时，接受命令进一步测绘大堡礁与大陆之间的内水道，以开辟通过托雷斯海峡至东印度群岛和亚洲的海路。为完成这个任务，除原来的战士外还补充了测绘和科学研究人员，船上只带了它原装的28门炮中的2门炮。

“响尾蛇”号的指挥是欧文·斯坦利船长，一位有经验的军官和皇家学会的院士。他年轻时即跟随菲力普·派克·金考察麦哲伦海



图4.3 1849年在大堡礁海域的测绘船"响尾蛇"号，应欧文·斯坦利之邀上船的天才艺术家O.W.布列尔利所绘。年轻的T.H.赫胥黎是船上的军医和博物学家（格林尼治国家海运博物馆）。

峡，与约翰·富兰克林远征北极海域，1840年指挥"布里托马特"号参加奥克兰的创建。

在从澳大利亚出发的航次中，斯坦利进行了测定波浪的高度、长度和速度的一些开创性的实验，其结果告诉了惠威尔博士，载于1849年的英国科学进步协会报告中：

> 我用来测定波浪的高度和速度的方法是：当船在风浪前暂停时，用有标记的绳子系在一根立柱上拉向船尾，使立柱位于一个波浪的峰，船尾则位于前一个波浪的峰。试过若干次之后，我发现波浪有规则时，我能测出50英寻的波长，准确度为2－3英寻。为了测出波浪的速度，要注意进行的

波浪经过立柱到船尾的时间及经过船的时间，重复观测几次。我有理由相信我们已经得到了离事实不远的结果。所有这些观测中军官只要记录下观测者喊停时钟表的指示就行了，不会产生有规则的误差。

斯坦利采用他试用10年“屡试不爽”的方法测波浪的高度，这个方法是科学作家玛丽·索默维尔推荐给他的，我们注意到，这也正是弗朗索瓦·亚拉果推荐给法国航海家的：

当船在波谷时，人向上观测帆桁，直到他能看到水平线上来波的波峰，这时他的目光高出船的水线的高度是波峰谷之间水平面差的很准确的量度。当然观测时可以取多次平均，因为即使海面很规则，每个波浪的高度也会变化。我很遗憾我们做这个观测的机会太少了，只有在非常有利的情况下才行，那时船正对着风浪航行，观测才能成功，但我没有漏掉这种机会。下表是斯坦利对观测结果的总结。

风力的级系——蒲福风级

日期 1847年	观测次数	风力（级）	船速（节）	波高（英尺）	波长（英寻）	波由圆柱至船尾的时间（秒）	波速（节）	备考
4月21日	…	5	7.2	22	55	10.0	27	船迎风、周期性大浪
4月23日	8	5	6.0	20	43	8.0	24.6	船迎风、周期性大浪
4月24日	6	4	6.0	20	50	10.0	24.0	船迎风、周期性大浪
4月25日	9	4	5.0	…	35～40	7.8	22.1	波浪不规则
4月26日	…	4	6.0	…	33	7.4	22.1	周期性大浪
5月2日	6	4～5	7.0	22	57	10.4	26.2	周期不规则观测不好
5月2日	7	5	7.0	17	35	8.9	22	亏特港波浪较小

蒲福风级“4”表示“和风”，“5”表示“清风”，上述数据是“响尾蛇”号从好望角驶往毛里求斯时在印度洋中测得的。测出“周

期性大浪”的波高在 20～30 英尺范围内，菲茨罗伊称为“风暴时开阔大洋常见的波浪”。斯坦利所述的测量波浪的高度、长度和速度的方法包括在英国海军部的科学调查指南 [Herschel (1881)] 中。

“响尾蛇”号的深海调查

19 世纪 40 年代大家都对海洋深度很感兴趣，“响尾蛇”号也在大西洋做了这种探测，但用了 2 400 英寻的缆都没有触到海底，在印度洋的一次探测中缆在 3 500 英寻断了，因而也失败了。一般放下测深缆的时间几乎两小时，水下温度调查是“响尾蛇”号常规日程之一：

> 此外，每天下午 1 时天气好时停船以接戴曼少校规定测海水温度深度。[MacGillivray (1852)]

这种温度探测在赴塔斯马尼亚途中在大西洋、印度洋和南大洋测了 69 次。仍然用西克斯型极大极小温度计测量温度。一般在两个深度观测，把一个温度计系在 370 英寻的测深缆底端，另一个系在它以上 150 英寻。因为有两个人的兴趣和支持，温度探测才得以有规律地进行，一个是斯坦利上尉，另一个是约瑟夫·戴曼少校，他后来直接负责铺设海底电缆工程的测深和海底采样。在那个时代，蒸汽机还没有出现，在深海用麻绳和重锤测深是耗时费力的。如“响尾蛇”号上用过马西一家制造的测深机，它用螺旋桨旋转达到海底深处，有时发现两种方法的结果差异很大：

> 深度是由马西专利测深机测得的。用同样质量的测深缆时，每天测出深度的差异可能是微小的，仅与船的漂移成正比变化；但在有些情况下机器测出的深度比放缆浅 100 英寻。

不止一个国家在 19 世纪前半叶采集深海温度数据，除英国外，我们已介绍过法国和俄国。其他国家，如奥地利和美国也进行了科学考察。1875 年约瑟夫·普莱斯威奇编辑、分析了 1749—1868 年的数

据，由英国皇家学会出版，这本重要且畅销的书名为《科学文集》。普莱斯威奇［（1875）p. 631］对“响尾蛇”号按戴曼少校指南常规记录的水下温度的意义做了很大的贡献。

> 在世界的英国海军“等值线圈”上画等温线时，我选看来最可靠、同时在大量纬度给出最连续的序列的数据，把科策布埃在北南大西洋、戴曼在南大西洋和印度洋的数据加上压力校正，每1 700 英尺减去1°F。

当然这里引用的压力校正对开口的西克斯温度计是很必要的。普莱斯威奇提出“戴曼的观测值大概比别人的高，应加以校正”，因为这些数据似乎均匀地高了1°F或2°F，但它是“用来在某些深度比较温度的独立数据”。在这一航次中的戴曼数据没有大深度的，一般在1 000～2 000 英尺，最低记录到43°F（6.1℃）的温度，这是在345英寻（2 070 英尺）测的。然而他们提供了绘制等温深度图的资料，正如水文学家所设想的等深线。这是对较早的调查所得到的随机温度探测的改进。第五章我们再总结由查尔斯·威尔克斯领导进行的类似美国探险考察的观测计划。

在巴塞特的文章（1966）中生动地描写了1846—1850 年“响尾蛇”号4个澳大利亚航次的参加者的实践，他们对杰出的生物学家托马斯·赫胥黎的一生和事业影响很大，他这时还只是船上的年轻的助理军医。赫胥黎对海洋浮游生物的观察形成论文水母的解剖学的主题，并由欧文·斯坦利把这篇文章呈给他的父亲诺维奇主教，由他报送给英国皇家学会。这使赫胥黎在学会里得到一个位置，且很快当上了秘书和主席。他的日记出版于1935 年，披露了他对那个地区的原住民族着迷了，他甚至对他们比对丰富多彩的动植物奇景更感兴趣。考察队解救了1名与约克角埃凡斯湾附近的土著部落共同生活了几年的白人妇女，这位年轻的科学家希望能使她开化，但却失望地发现这位妇女与人沟通的智力有限。他为没有多少机会与新几内亚的原住民族接触而恼怒。

对欧文·斯坦利来说，这次探险因面对新几内亚海域危险的礁石和到处都有的原住民族的敌意和威胁而感到压力很大。麦克吉利弗顿（1852）说在新几内亚海岸只登陆了3次，两位军医汤普森和赫胥黎都对指挥官拒绝冒险登陆而非常气愤。应当回顾一下，以前在这个海域的探险者们如布干维尔和迪蒙·迪维尔都没有登陆。“响尾蛇”号1850年回到悉尼后不久，船长突然死了，他只有38岁，据说他是因忧郁面自杀的［Ingleton（1944）］。

这时有蒸汽助航的船舶参加调查的可能了，这增加了机动性和安全性，但需要在遥远的地方设供煤场，在南半球很稀少。“响尾蛇”号的一个任务是在约克角埃凡斯湾选一个场站，这地方后来叫做萨默塞特。

在19世纪“英国统治下的和平”时代，英国海军花费很大资源在全球维护自由和保障海上安全。我们这里主要介绍澳大利亚海岸线的测绘任务，这仅是活动的一部分。我们已谈到澳大利亚测绘附带的最重要的物理海洋学领域的工作是“响尾蛇”号航次的欧文·斯坦利上尉做的测量波浪的长度和速度的实验，以及戴曼少校的深海温度测量。除了我们将在第六章内详述英国“挑战者”号的划时代航行之外，我们推荐读者阅读M. 迪肯的《科学家与海洋》一书，以此来了解英国海军远航的科学成就。

在“温室效应”之前

大量消耗化石燃料使世界大气中的二氧化碳增加，直到19世纪中期产业革命对地球上的人类影响不大。大片赤道森林仍存在，按现在标准，当时用作能源的煤和碳氢化合物的需求很低，船仍然靠帆航行。

当前确信20世纪释放到大气中的二氧化碳会引起全球变暖。我们已经总结出1850年以前在印度洋、南太平洋和南大洋做了超过150个的水下温度测量，这些在我们大量使用化石燃料前取得的资料可作为背景值，与现代更广泛的温度测值比较。普莱斯维奇（1875）绘出的在澳大利亚海域的很多早期测量值的站位示于图4.4，摘自他的站位地图。那时没有来得及提供给他的一些资料也包括在内。

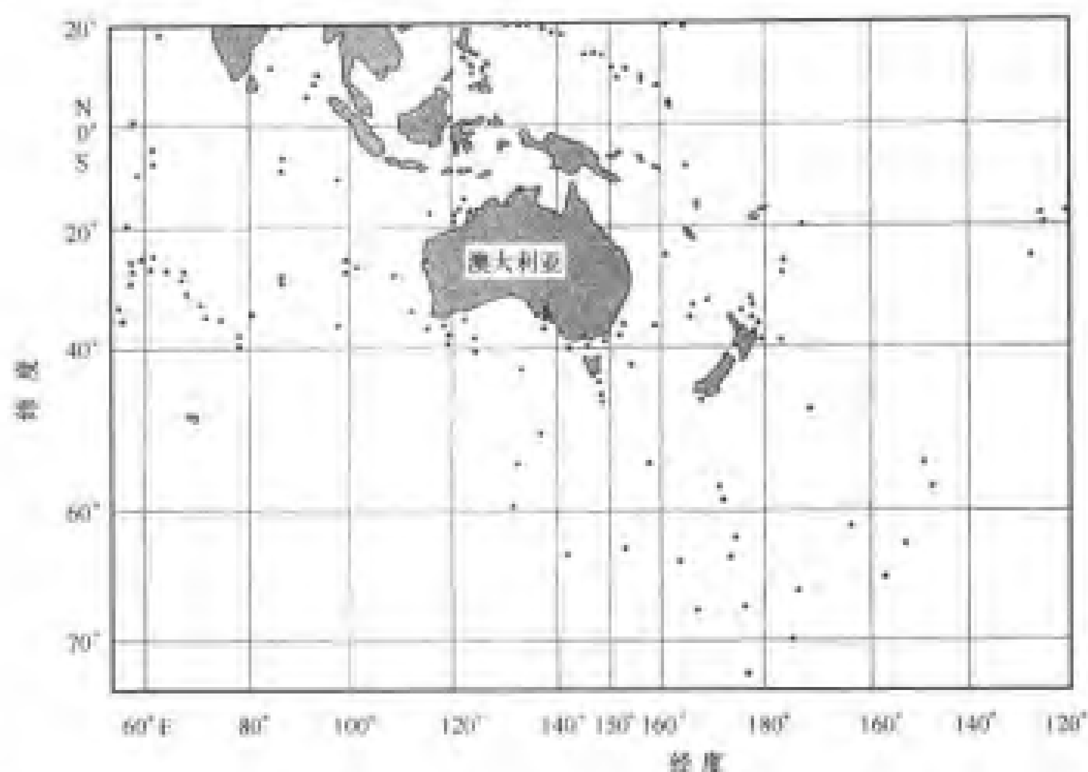


图4.4　普莱斯维奇（1875）绘出的1868年前，澳大利亚周围的深海温度探测站位置，此资料与图5.4威尔克斯及迪蒙·迪维尔1837—1840年探险的资料是19世纪气候的宝贵的记录。

去澳大利亚的大圆航线

英国的殖民地发展后供养了英伦三岛的经济，运输不是经济中的小头，为占有食物、原料及制成品运输的最大份额。他们制定了一系列严格的法律，规定只允许悬挂英国国旗、在英国建造和英国人拥有的船舶在殖民地和本土间运输货物。这个禁令引起了公愤。外国商船在澳大利亚港口只能做走私生意，澳大利亚的羊毛和鲸油只能按对东印度公司优惠的航运法出口。在殖民地初创时期，5艘捕鲸船的老板订有运囚犯去悉尼的合同，把他们列为第三舰队的一部分，卸下人员后再在东太平洋捕鲸［Hodgkinson（1975）］。禁止他们在180°子午线以西捕鲸。但在这种情况下，船老板还是得到东印度公司的准许在澳大利亚海域捕鲸［Bateson（1974）p. 139］。

1849年《英国航运法》禁令废止。1851年和1852年在新南威尔士和维多利亚发现黄金，接着发生到澳大利亚的移民潮。19世纪50年代有上万人到达墨尔本港，他们大都是付费的旅客，想从欧洲尽快去澳大利亚淘金发大财。航行时间的缩短节约了成本，打开了澳大利亚产品的欧洲市场，尽管蒸汽机船发展了，帆船在从欧洲到澳大利亚的大圆航线仍占主要地位。用帆航行的船老板们对风、流和冰山的分布感兴趣，对海洋状况了解的需求一直未减（图4.5）。

1850年大圆航线

图4.5　南大洋的大圆航线

第五章 美国为地位和文明作出的贡献

看哪！曾几何时才被发现的那个国家已跻身世界文明之列，对寻求知识之路作出了自己的贡献。

威廉·雷诺日记［摘自斯坦东（1975）p. 83］

士官生威廉·雷诺1838年8月随首次美国探险考察队出发时抒发的爱国之情是有道理的。这个世界上最年轻的国家在投资考察太平洋和南大洋的群岛、谋取经济收益的同时，也加入了文明国家的圈子，对为人类有益的科学知识作出了贡献。

新独立的美洲殖民地的人民很愿意展示他们在科学方面媲美英、法、俄等国的能力。他们急于表现他们建立的共和国有达到欧洲旧世界帝国的成就的能力。于是他们推出到太平洋和南大洋考察的计划。因为美国海军和科技界都没有举办在欧洲列强认为是常规工作的海洋科学考察的经验，实现计划不是没有困难、延迟和分歧的。

下一个10年美国在科学上达到另一个里程碑，马休.F. 毛利的《海洋物理地理学》课本出版了。尽管有不少错误与没有根据的推广，这本书是唯一多年再版多次的海洋科学专著。

美国筹备科学探险考察

美国殖民地因海兴国，依靠海岸线，在渔业、造船和通商上大展宏图。自1776年脱离英国的殖民统治独立以来，大量美国远洋船不仅在大西洋和地中海港口经商，还在遥远的马尔维纳斯和南设德兰群

岛、新西兰海域、巴斯海峡和日本海域捕鲸与猎海豹。1794 年美国国会斥资组建 6 艘（后来减为 3 艘）军舰保护其商船免遭海盗劫掠。随着美国猎人和商人越走越远，装备精良的美国探险队测绘他们常去的海域以保证美国海员安全的要求也更加强烈。在 19 世纪 20 年代对此有力的倡导者是俄亥俄州的报纸编辑杰里米亚．N. 雷诺兹。他在全国演说中指出经济利益既可来自猎海豹和捕鲸，也得益于年轻共和国的国家威信上升。科学航行的另一位热心的支持者是热爱科学，精于水文学和地磁学的年轻海军军官查理·威尔克斯（图 5.1）。



图 5.1 查理·威尔克斯上尉 1838—1842 年美国探险考察的领导。[威尔克斯（1844）复制]

1828 年 5 月美国众议院请求约翰·亚当斯总统派考察船去太平洋。海军部长萨缪尔·索撒德拨单桅船"孔雀"号在纽约船坞为考察进行改装。命令杰里米亚·雷诺兹了解美国企业在太平洋和南大洋的规模。很显然，新英格兰（美国东北部）猎海豹船队的船长们已经进

入了南极圈，力图独占他们的地理知识。他发现纽约博物学校已准备推荐著名的科学家参加考察并提供仪器。想当天文学家的查理·威尔克斯已在采购需要的天文仪器。“孔雀”号已满员，准备那年9月出海。船长的职位答应给托马斯·卡特斯比·琼斯，主要的天文学家和几名助手也已选定。虽然威尔克斯上尉很想参加，但不同意当主要天文学家的助手，这位天文学家希望科学家都是老百姓。委托杰里米亚·雷诺兹写航海日记。1828年12月众议院拨款50万美元，探险似乎一切顺利。

但是此后，在海军任务中雇用平民科学家的想法遭到反对，参议院否决了这一议案，威廉·斯坦东（1975）详细地叙述了这一经过：南卡罗来纳州参议员、海军事务委员会主席反对这次考察，因为“平民科学家只是军官的属下，可能要夺去任务成功的荣誉”。他的“发现未知土地的计划是多余的，家里还有很多没有探索的领域呢”的观点征服了参议员们，于是考察计划搁浅了。

而拥护考察的人坚持他们的意见，在下一个10年里又重提这一计划。杰里米亚·雷诺兹在这段时间里参加了私人的南大洋探险，在智利过了两年，1834年回到美国继续追求他的梦想。约翰·亚当斯总统为安德鲁·杰克逊所取代，但他还是参议员，还关心这个考察。马龙·迪克逊新任海军部长。海洋界大都支持考察。马萨诸塞州撒冷的东印度航海学会和波士顿博物学会向国会呈送提案，众议院在1835年通过比以前更多的预算：30万美元，进行海洋探险和测绘考察。

这时，经历了多次的波折、延迟和几次错误的开始，探险考察队终于组成了，规模比欧洲列强的还大。美国的科学界人数虽少，但都很敬业。1837年1月宣布雇用10名平民科学家和6名艺术家，杰里米亚·雷诺兹是科学专家的头儿，鼓吹政府雇用平民以支持科学事业。

但是海军部长不想让考察成行。他认为探险船的数目太多（5艘），也不同意请平民科学家。他同意再度在计划中占主导地位的威尔克斯上尉的意见：科学工作应留给海军军官做。他不愿杰里米亚·雷诺兹当航次秘书。他的阻挠使又被任命领导这次考察的琼斯司令很

沮丧。

查理·威尔克斯被派往欧洲采购设备，买回大量书籍和天文仪器，价值20万美元，但令博物学家失望的是没有他们所需的显微镜等特殊设备。到这个阶段，选来的博物学家还没有安排好职责，也没有装备。杰克逊总统过问此事，并命令海军部长对科学队伍进行组织分工，这时候又传来美国在这方面已没有活动空间的消息。法国派出迪蒙·迪维尔领导的“星盘”号和“热心”号赴太平洋和南大洋探险。据说路易-菲力普皇帝奖给到达南纬75°的法国海员每人100法郎，并给到达更南部的海员以终身年金。1837年2月皇帝命令迪蒙·迪维尔领导考察队，7月后他从土伦扬帆，仅比日程表晚了3个星期。

在美国，到了1837年，琼斯司令辞去职务。成立考察委员会来评估削减船只和人员的后果。很难找到新的指挥，范布伦总统指令国防部长乔尔·波因塞特过问此事。波因塞特为寻找指挥官做了两次努力，他任命了在旁等候考察机遇多年的威尔克斯上尉。

于是他升任指挥官，高于比他官衔大的军官，他的权限比琼斯曾拥有的还大，是有决定权的组织者。他立即宣布选用新船员，并解雇已准备好出海的平民科学家。他向波因塞特强调他的观点：“所有天文学、测绘、水文学、地球构造学、磁学、气象学和物理学专家的职位都应由海军军官担任。”如果可能的话海军医官应根据其动物学、地质学、矿物学和贝类学的知识遴选，因为他们能胜任这些学科的采集与记录工作。威尔克斯的“平民科学家的数量应尽可能地少”的建议被采纳了，但很难找到通晓自然科学的海军军官充实医生队伍。威尔克斯只得雇用5名原来的科学家，他们是博物学家和画家蒂先·拉姆塞·皮尔，动物学家查理·皮克令，地质学家詹姆斯·德怀特·达那，植物学家阿撒·格雷，贝类学家詹姆斯·波提·考图伊。他说他不需要杰里米亚·雷诺兹当秘书。阿撒·格雷退出了考察，而换了威廉·里奇。请威廉·邓禄普·布莱肯里奇当园艺家。物理学、水文学、气象学和海洋学研究则由海军军官，实际上由是威尔克斯本人担任。

最后，1838年8月，可观的6艘船的船队载着627名官兵从弗吉

尼亚州诺福克起航了，包括载重量780吨的单桅帆舰“文森”号（图5.2）、载重量650吨的单桅帆舰“孔雀”号（图5.3）、载重量232吨的方帆双桅船“海豚”号、载重量110吨的纵帆船“海鸥”号、载重量96吨的纵帆船“飞鱼”号和船队的后勤船“后援”号。船只的总数在科考船队中是空前的。迪克逊曾一度反对计划中要那么多船，向杰克逊总统举出新出版的迪蒙·迪维尔《1826—1829年“星盘”号考察澳大利亚》的七卷成果，证明仅用1艘船就能做那么多事。杰克逊则反驳说拟议中的6艘船可以做成倍的事，船队的力量还应保留。加上6名科学家、1名动物标本剥制者、2名制图员、1名科学仪器制作者、1名语言学家和1名翻译，平民专家的数目已多到仅有世纪之交拿破仑·波拿巴派遣的包丹考察队可以相比。



图5.2 “文森”号，1838—1842年美国探险考察队的旗舰。曾进入南极圈，由小冰山为船加水。（查理·威尔克斯1845年素描）

威尔克斯从年轻人中通过考试选拔军官以完成他的长期任务，这一工作广有微词。他的副手威廉·哈得孙上尉比他大两岁，因为这是纯科学考察，而不是军事行动，他没有管海军熬资格的惯例，接受了这一职务。



图5.3 “孔雀”号1838—1842年美国探险考察队的船深入南大洋冰山间，在塔斯曼海做了大量温度探测，见图5.4。A.T. 艾格特绘［威尔克斯（1845）］

船队的科学活动

船队的仪器给人留下了深刻印象。法国科学家让－巴提斯特·比奥［（1848）p.675］要法国科学院注意美国的考察队。他说船上载有所有必需的精密天文、物理调查用仪器，有各种气压计、湿度计和温度计，还有24台以上的钟、地磁仪器和测重力变化的便携式的摆。这些仪器是英国、法国和德国最好的工匠制造的。

美国海军船队停靠大西洋中马德拉群岛和佛德角群岛、里约热内卢后驶往火地岛，1839年1月在该岛西南岸奥兰治港建了越冬营地。

威尔克斯留下“文森”号调查奥兰治港附近海域，“后援”号考察麦哲伦海峡，而其他的船向西南考察帕尔默地（现在名为南极半岛）。“孔雀”号在众多冰山间突现的浓雾中穿行，最远到达南纬68°，而“飞鱼”号到了南纬70°，才被强风、冰海赶回。只有1名博物学家参加了这些航次。对天气、海流和南极光做了记录。在高纬度4次放下极大极小温度计到183米和548米深，记录了最低－1.6℃的

温度。

当船队在智利的瓦尔帕莱索重新集合时，损失了“海鸥”号和船上的50人，他们从奥兰治港通过合恩角时遇险。后勤船“后援”号最慢，受命直接去夏威夷和悉尼卸下给养后回纽约。其他4艘船沿不同航线执行不同任务考察太平洋岛屿，再访问悉尼，准备下次去南极海域探险。

在途中，船上的军官做了常规的海洋和气象观测，海面流测量是他们的经常工作，他们用“两个小桶带着5英寻绳子”组成双联浮桶式“测速仪”。一个桶加上配重，把气密的另一个正好沉在海面以下，威尔克斯［(1844)附录第2卷］指出：“把测速缆接在连接缆上，就可以得到不受风浪影响的读数。”美国哲学学会为考察写了指南，要他们观察是否符合詹姆斯·埃普西的风暴起源和热大气上升时在周围较重空气中间产生真空，较重空气会冲进去的理论。

1839年7月，在太平洋热带塔希提以东海域南纬17° 1 476米深处做了深海温度测量，在该深度的温度值为6.9℃，海面为28.3℃。威尔克斯同意罗斯的观点，海底温度还可能更低，他也用了没有保护大深度下因水压而损坏的温度计。

几天以后，威尔克斯在“文森”号上在热带300英尺（91米）、600英尺（183米）、1 200英尺（366米）和1 800英尺（548米）深度做了温度垂直系列数据记录。海面温度为23.8℃。垂直剖面为有规律的温度下降，至10℃。

1840年“孔雀”号由悉尼至汤加路上也做了系列温度探测。数据记录在“孔雀”号船长的文书弗雷德里克.D. 斯图亚特的未发表的日记内（图5.4）。其中最细致的是1840年3月在澳大利亚以东南纬25°40′，东经160°所测的垂直剖面，图5.4中表示它是在塔斯曼海中所测的14层数据，600英尺（183米）以浅间隔60英尺（18米），3 000英尺（915米）以浅间隔600英尺（183米）。在915米深处温度仅为49°F（9.4℃）。温度计在此深度的偏差接近1℃，海面温度为75°F（23.8℃）。

除了这些随机的温度测站外，命令两艘船在从新加坡经里约热内

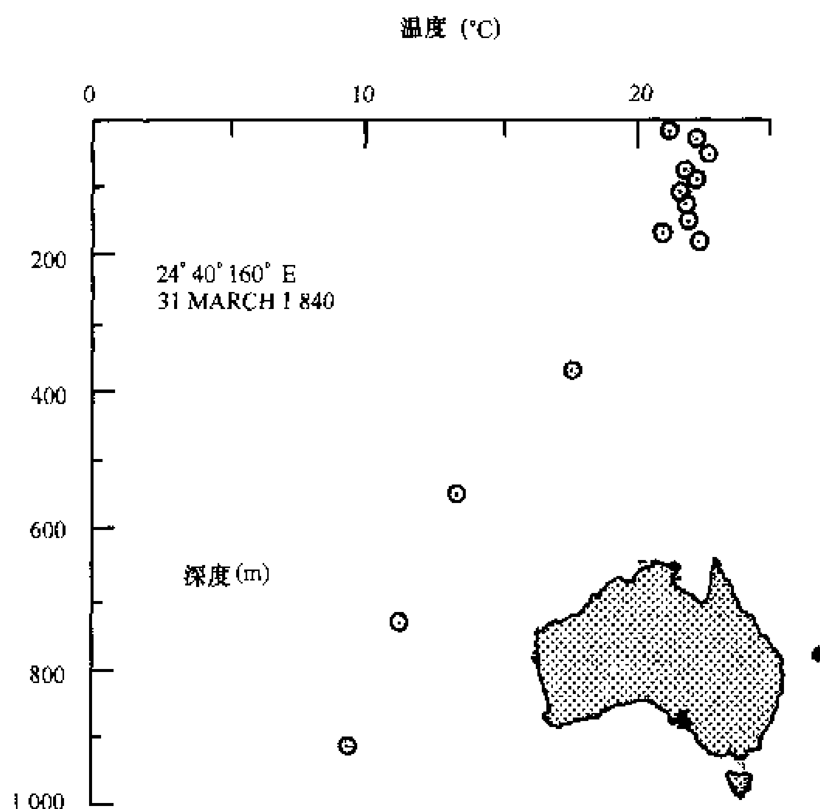


图 5.4　1842 年“孔雀”号在塔斯曼海得到的系列温度测量值，可见约 22℃ 200 米。

卢回纽约的路上每天停两次，做系统的约定的 100 英寻深度的温度测量。这些以前没有发表过的数据摘自现存的日记，在图 5.5 中给出印度洋断面。在归航的最后一段，漫长的航程好像没有尽头，“海豚”号上的深海温度计忽然失踪了，尽管令郭德船长悬赏 100 美元，仍然没有踪迹。翌日拿出新的测量仪器，又继续工作了［斯坦东（1975）p. 278］。而“文森”号在停靠开普敦后走在前面，只偶然停下来测量。有人指责说威尔克斯想第一个到家抢头彩。

考察过程中有规律地记录海面温度。数据可以从未出版的军官日记（例如威尔克斯日记第一卷）的缩微胶片中查到，这些资料虽已公开，但没有整理发表。

沿路在不同纬度取水样测盐度，特别注意测大洋中光的透射率。威尔克斯介绍了测量方法（1848）：

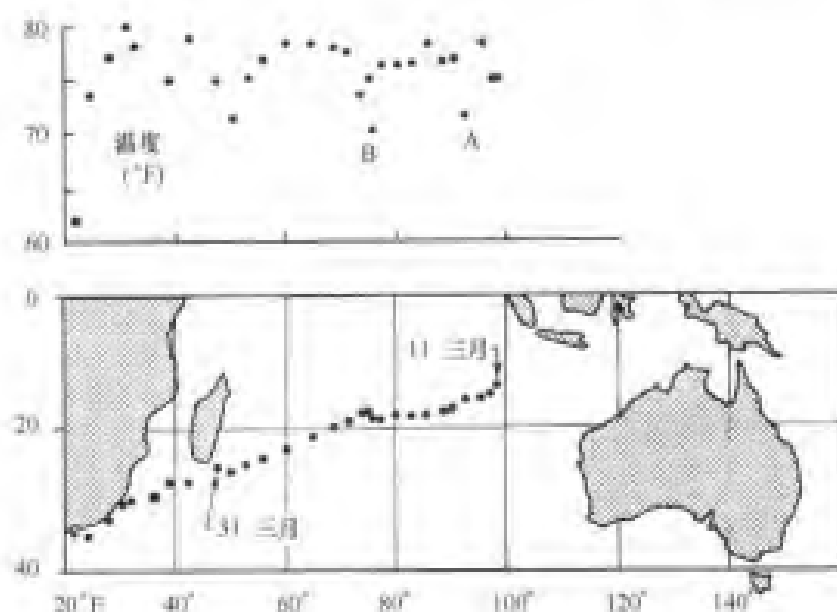


图5.5　1842年美国探险考察队的"海豚"号和"俄勒冈"号归程中跨过印度洋时在约定的100英寻深度所测的温度断面。数据摘自E.J.德哈文上尉1842年7月18日的手稿日记。A、B两点温度低于邻近点，原因无法解释。厚混合层覆于温跃层冷水之上。测深缆上挂了很多温度计才得到这一剖面。

用深海缆将漆成白色的底朝上的罐放下水中，底直径约18英寸，记下它从视线中消失和重新出现的深度，其平均值即为结果，此差很少大于1英寻，观察者在海面上5英尺，对准放下罐的缆的方向。

威尔克斯说这个实验只能在海面平静时做。实验做得很频繁，从早到晚日间每小时1次，每次都记下太阳高度。他说物体可见的深度似乎首先决定于太阳光线强度及照射海面的角度。

这些因素无疑有一些影响，但很少产生1½英寻的偏差。在其他的纬度和海水温度，超过此值的异常太大，引起疑问，待寻找其他因素。

威尔克斯（1844）笔记第五卷附录中记载了这类数据的例证。他观察到的能见目标的深度为30英寻（180英尺，55米）。他的结论是：

> 几乎没有疑问变异的主要原因是水温显著影响光线的传播或其吸收。在温度为78°F至80°F的水中，上述白色目标在180英尺深度消失，而在36°F的水中，40英尺就看不见了，目标逐渐变淡直至消失。

现代的海洋学家仍然用这种简单的白盘实验测定可见光穿透海水的深度，同时也用光源和光电池的先进方法，结果得到海水本身垂直剖面各深度的吸收系数。现在我们知道不仅是温度本身影响白盘可见的深度，生物活动也常与水温有关。冷水常富有营养，有利于浮游植物生长，使透明度降低。吸收系数是有用的，与温度、盐度特性相结合，能识别水体的源头。

威尔克斯根据他的未发表的第24卷笔记1859年发表在费城物理学会的论文里作出下列结论："光线被完全吸收的深度"支持海洋主要为地壳散热所温暖的理论。他强调太阳光穿透不会深于30英寻，不足以解释海水的温度，几十年内海洋学家一直在研究这一观点。30年前弗朗索瓦·庇隆曾研究过，否定了这一观点。威尔克斯计划的物理学卷并未写完，费城物理学会持有未竟文稿的两章预印本，由此摘出威尔克斯关于海水温度与地壳发热有关的结论。现在我们知道是太阳能供给海洋，由海面通过传导和垂直对流而传播。

美国探险考察队到达悉尼

与"地理学"号的包丹不同，威尔克斯驶进澳大利亚的杰克孙港时不仅没有靠人帮助，反而相当有技巧。惊愕的悉尼湾居民1839年11月30日早晨发现这些美国船抛稳了锚。"文森"号和"孔雀"号在前夕的夜色中靠南头角的灯塔指引和熟悉这个港湾的"文森"号航

海信号长的领水艰难地驶进狭窄的水道。港口管理部门惊讶发现主管南头角的信号站竟然没有发现船的进入。“海豚”号和“飞鱼”号上午过了一会儿也到了。

船队把马夸里堡，就是现在歌剧院坐落的地方，当做观测站。所有的船都进行了检修、补漏、油漆，并补充了给养，但是悉尼的老百姓担心考察队没有准备好拟议中的南极探险。他们希望加固船的结构，以适应在冰海中工作，因为他们听说英国和俄国船都为去南极而加固了。

他们问我们是否有防沉隔舱？我们怎么预防坏血病？我们的大冰锯呢？[威尔克斯（1845）p. 275]

同时代的美国历史学家［詹金斯（1850）p. 282］这样描述与之竞争的詹姆斯·克拉克·罗斯领导的英国南极考察队：

与法国和美国的探险队不同，罗斯的船装备了适用的装备与用品，船加强了，可以穿过坚冰，有一次加厚到能跨过延伸进大海达 200 海里的完全足以损坏其他的船舶的冰带。

美国船队的严重不足是船的质量差和海军的军装厚，船的大舷窗不适用。“孔雀”号船长威廉·哈德孙在悉尼向威尔克斯报告他的船状况非常恶劣，不能胜任未来的高纬度艰苦工作。而要进行大规模修理，就会失去南航的时机。后来 1 月底“孔雀”号与浮冰相撞，损坏得很厉害，哈德孙船长只得驾驶着没有舵的船回悉尼修理。“孔雀”号 5 月在汤加归队。小船“飞鱼”号因病严重减员，船员勉强驾驶逃过了南方狂风和冰海的凶险。

1839 年 12 月 26 日美国船队出航赴南极探险，考察队的平民科学家留在悉尼。这是个研究博物学，采集太平洋标本然后送他们回家的机会。他们在这个繁荣的殖民地过得很好，詹姆斯·达那与敬业的地质学家威廉 . C. 克拉克神父交了朋友。3 个月后安排博物学家在新西兰的群岛湾重回考察队。

船队约定在南纬54°30′合恩角经度的马夸里岛集合，各船不一定结伴同行。“孔雀”号和“飞鱼”号都曾登陆，但因雾未能联系上。在发现摄氏零下温度的海域附近做了3次水下温度测量，都在离合恩角不远处。最深的探测点深5 100英尺（1 664米）。

此后每艘船都冒着巨大的危险尽力向南，然后向西沿冰障航行，他们发现冰障后陆地的踪迹。因有浓雾很不确切是否有陆地，探得较浅海域或淤泥海底就可作为证据。1840年1月30日“文森”号威尔克斯发现隆起的陆地，可以看见黑色的岩石，日记中记载“已发现无疑的南极陆地”。测深发现35英寻深的岩石海底。“文森”号继续向西。2月12日威尔克斯在东经112°16′看到更高的陆地，证实他们沿陆地海岸航行了800海里，足以证明是一块大陆。最后经过东经105°的经度，在“决心”号库克到达的地点附近转向北，2月21日开返悉尼。“文森”号3月12日驶进悉尼港。1840年3月13日悉尼《先驱早报》宣布了发现南极大陆的消息。

发现南极大陆

今日到达的船舶名单中有由查理·威尔克斯阁下指挥的美国“文森”号。该船离本港约80日，其大部分时间用于南方探险，我们荣幸地代表最高当局宣布考察船队对南极大陆的研究完全成功。此陆地首次发现于1月19日晨，在南纬64°20′、东经154°18′。

我们获知“孔雀”号（此船于本月22日到达本港，被冰撞成重伤）在南纬高纬度进行过测深，确认该方向有陆地，而“文森”号幸而未遇损害，继续探险，沿海岸由东经154°18′驶至97°45′，行程约1 700海里，十分贴近陆地，以能用数英寻的缆测深，此时“文森”号常与冰山、冰岛相伴，克服狂风袭击，冒着沉船的危险。我们还获知她带回若干岩石和土壤的样本，其中有些重达百磅。

尚看不到此发现有无商业利益，但我们不能不为威尔克斯上尉和他的官兵感到非常高兴，他们完成了他们国家交付的使命，希望这个在科学和发现历程中的光辉开始使美国政府跻身于考察的先进行列。

其中的关键词句是“此陆地首次发现于1月19日晨”。在悉尼《先驱早报》援引《霍巴特信使报》同一天报道了迪蒙·迪维尔考察队乘“星盘”号和“热心”号已在南纬66°东经130°发现南极陆地，并用指挥官夫人的名字命名为阿黛丽地，并在那里采了岩石，这次发现的日期也定为1月19日，但时间是该日的下午。

首次看到陆地的日期，甚至时间成为两个国家争夺发现权的关键，也事关美国指挥官的荣誉。“文森”号和“孔雀”号的航海日记并没有记录这次发现，威尔克斯的日记也付阙如。他说他当时不在场，他是根据一名船员的发现报告申请的。

美国接连看到陆地意味着他们有发现大陆的证据，而不仅是岛屿或群岛。此前捕鲸人、猎海豹人帕尔默、比斯科和巴仑尼报告说在南极地区发现陆地，现在得到了确认。威尔克斯发现连续的海岸线（图5.6）是很重要的，但是威尔克斯回国后被控虚假申请却使美国人的

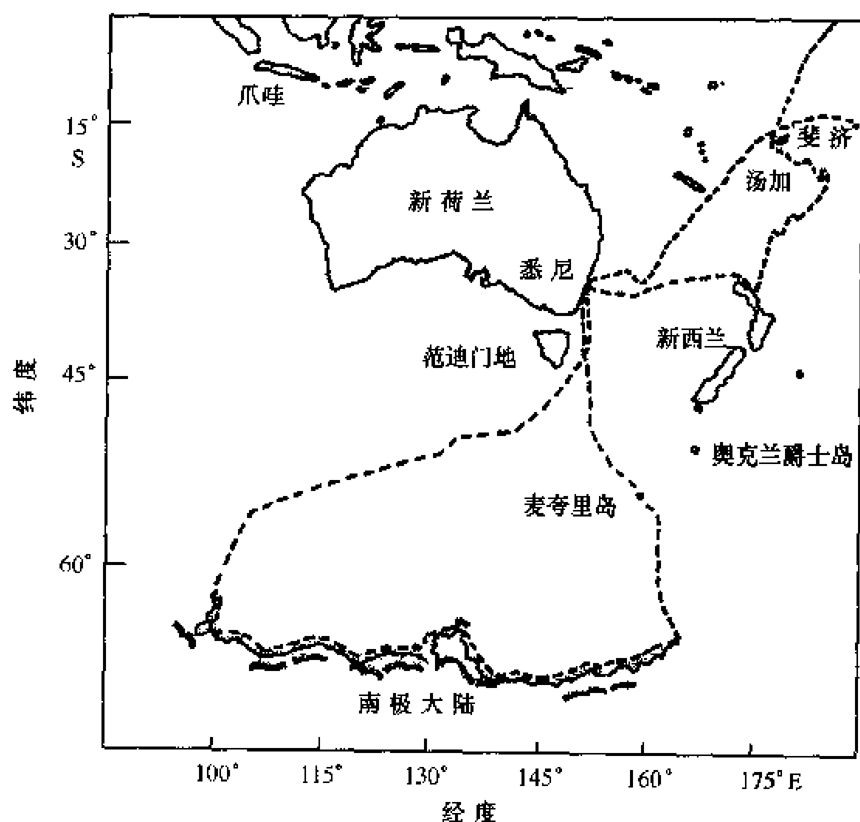


图5.6 1838—1842年美国考察队“文森”号的航线，表示他们发现了南极大陆的海岸线，由威尔克斯（1845）复制。而英国探险家詹姆斯·克拉克·罗斯不久也到了威尔克斯海图标出的若干海岸线。

荣耀黯然失色。容后再叙。

“海豚”号在南航新西兰时发生一起没想到的事件（1月30日在南纬64°东经135°附近）。在茫茫大洋中她看到了两艘船，不是“文森”号和“孔雀”号，也不是英国的“阴阳界”号和“恐怖”号，而是迪蒙·迪维尔的“星盘”号和“热心”号。令郭德船长派人与法国船联系，但没有成功，英国人以为法国船长故意张帆回避他们［斯坦东（1975）p.177］，这是国家间敌对的表现。迪蒙·迪维尔的解释［比奥（1848）p.719］是他按其航速预计如他不扬帆向风，“海豚”号将碰上他。“海豚”号沿冰障探险后经奥克兰群岛到下一个集合点新西兰的群岛湾。凑巧，在那里他们又看到法国船队，在“海豚”号离开时到达那个群岛。

“文森”号在“海豚”号和“飞鱼”号之后到达群岛湾。4月从那里，威尔克斯寄信到霍巴特给预计到达该地的英国探险队指挥。他在信中给罗斯介绍了美国已去过的南极海域的情况，附上他画的航线图，给出南方大陆海岸线，标示陆地的位置。威尔克斯写这封信的目的是宣布他的船队已沿“他的大陆巡航”，罗斯只不过在其东端碰到几个点而已。

美国探险考察队1842年6月和7月回到纽约，船队离开新西兰后，花了相当长的时间考察中太平洋，然后航行到北美西岸。深入考察后不久美国就占领了这一地区。不幸的是“孔雀”号在现在华盛顿州、俄勒冈州交界的哥伦比亚河口沉没，那时是哈得孙湾公司的分公司所在地。购买了替代的船，名为“俄勒冈”号，1841年11月船队离开，跨过太平洋到达菲律宾和新加坡。认为“飞鱼”号不适于完成绕过好望角的长途环球航行，在新加坡把它卖了。最终6艘原来的船中只有2艘完成了将近4年的远航。

回国与军法审判

威尔克斯1842年6月回国时，迎接他的远不是喝彩，而是侮辱性的冷酷，他也因得不到升迁而不平。迪蒙·迪维尔1840年11月回

到法国一个月被提升为准将。詹姆斯·克拉克·罗斯1843年9月回国后不久受封为爵士，而威尔克斯则被他手下的3名军官和“海豚”号的军士查理.F. 吉犹告上军事法庭。他被他们依次控告，诉讼长达3个月，双方的恶言恶语败坏了指挥官的名誉，贬低了考察得到的真正成就，不少军官对他们的指挥官进行人身攻击。他被说成“极易激动、粗暴、专横、无礼”、“语无伦次和野蛮”、“举止傲慢无礼不像绅士”等，他的领导品质受到粗暴的攻击。

在漫长考察的最后阶段，威尔克斯的确不能胜任指挥官的角色。他非常专横，不顾手下的感受。的确他执行的是“非军事性质”的考察，但是他的军官几乎不可能按海军服役的传统升迁，得不到一般应得的职位，在奥兰治湾威尔克斯突然调动和另行任命了人员，使他们离开他们熟悉的船舶。在卡亚俄又进行了调动，有一些是为了把“后援”号上埋怨不满的人遣送回家，有一些被法庭询问以接受威尔克斯的惩罚，整个航程中军官面对着惩罚、停职，甚至撤职的危险。这位指挥官宣布他等不及调查，没有时间军事审判，不等判决便对水兵处以比美国海军规定不加审问就执行的十二鞭更严厉的刑法。

查理·威尔克斯以上尉的职位指挥了这支考察队，从船队的规模看，这是不平常的。但1839年7月18日“文森”号率领4艘船从卡亚俄驶进太平洋时，在桅上挂了蓝色宽三角旗，表示由上校军阶的官员指挥。“孔雀”号也看到了。威尔克斯认为他的职责应得到这个代理军阶，并利于执行纪律。他的日记中数次写道他遇到同等或较高军阶的军官指挥的海军舰船时不敢声张的窘态。

考察中指挥官多疑的性格有时把单纯的友好当成阴谋，说要“粉碎小集团”。我们还记得19世纪初包丹去南方大陆的探险也发生过类似事件，不满足的科学家由于指挥官不肯放小艇登陆去接回他们而不能研究陆地。美国考察队更为糟糕，威尔克斯在首次到达的太平洋环礁土阿莫图群岛时只允许匆忙地走航调查，博物学家只能用小望远镜远看［斯坦东（1975）p. 116］。他们只有一天停留，虽然浪很大，登陆很困难，但还是有两个人等不及而游到岸上。

这个岛是克莱蒙·托奈莱（里奥环礁）。玻利尼西亚土著以非常

不友好的方式接待考察队的登陆者，虽然威尔克斯除命令非自卫，禁止使用暴力，但第一个遇见岛民的人遭到棒林石雨之后开了枪，并命令其他人也开火，原住民受伤后躲进丛林。

这是太平洋岛民很多次这种遭遇的第一次。在非治岛，"文森"号的小艇被窃了，或按当地的说法被"捞"来了。后来找到了，但是一些小部件没有了，威尔克斯派人登陆向村子开火。他下令射击任何抵抗者，村民迅速逃离视线。

后来发生更糟的事件，在斐济的马洛洛岛，冲突中死了3名斐济人和两名美国军官。80名美国人在海滩登陆，接受了除妇孺外，摧毁一切人和物的命令。岛民退守堡垒，但他们的火力无法与美国人相比，不久两座村庄被焚，估计有87名斐济人被杀。第二天约40名当地人，主要是妇女，聚集在威尔克斯的部队前面乞求怜悯。威尔克斯向他们宣讲了"大国"的威权，没有伤害他们的性命，向村民们供给了船上用的芋头和椰子。

吉犹医生对他的指挥官起诉的七项指控之一就是对原住民族的残忍，用了"侵略"、"违抗命令"、"非法惩罚"、"践踏兵役法"、"破坏道德的丑闻"、"不配当军官的操守"。唯一定罪的是非法惩罚，威尔克斯17处被判有罪，公开惩戒。

最有意义的罪名是威尔克斯1840年3月11日给海军部长的虚假报告：

> 1月19日晨我们看见在南方和东方有陆地，有很多标记告诉我们离陆地不远了，诸如企鹅、海豹、海水变色，但不能逾越的冰障阻止我们靠近它。[斯坦东（19785）p. 283]

错误地声明发现权对国家的国际荣誉至关重要，但1840年1月16日"孔雀"号上两名军官从桅杆上看到高地的证据挽回了荣誉，虽然那一天航海日记没有记载，调查询问时这个证据仍是可信的和有说服力的。

成果的出版

船队回国后考察并未结束，虽然“孔雀”号在哥伦比亚河口沉没损失了很多标本，但还是采集、分类和描述了可观的标本和图鉴。很多盒子、箱子、桶由沿路港口运回，可是需要储藏室和建成的实验室来收藏。仅植物标本数就有 5 万件。海军部长决定在新建的华盛顿专利局留一处空间，以容纳考察队生物学家查理·皮克令领导采集的标本。皮克令 1843 年 6 月辞职，威尔克斯取代了他的位置。他分析样品，写报告，贡献了他在航次中表现出的不倦的精力。他对科学研究的著作在 1861 年参加内战时中断。

如果对威尔克斯写报告的权利，或他写报告的文字能力有怀疑，那么由他拒绝向海军部长交出船队的航海日志和所有军官的日记的做法就自然打消了。国会中的一些朋友认可他的行动，通过议案使他对这些文件有完全控制权。另外，从詹姆斯·库克时代开始，欧洲的传统是指挥官出官方报告，威尔克斯坚称文件可以改变他在冗长的军事审判中的地位并主持公道。

他曾主张在考察中只有海军军官才能做科学工作，这时他却希望由采集的人做博物工作了。这个工作并不像他想象的那样简单。有些科学家（采集者）不再干了；有些需要专家关心；有些在华盛顿工作；有些工作只得逐渐与外界和科学院的专家签合同来参加。文本慢慢从出版社出来，准备作为给世界各国的礼物，为提高书的质量不遗余力，19 本科学报告花费政府近 30 万美元。

包括威尔克斯的航程记叙报告在内的首五卷 1844 年印行。政府仅资助记叙报告。书是非常漂亮的金边本，书脊上有美国字样，主要为各文明国家均有一册，但威尔克斯保留版权，他自己出版简装本，卖得很好。接着在英国又出版了节本。我们在图 5.6 中引用了威尔克斯 1845 年版中载有的新大陆的推想海岸线的地图。书的出版又引起对虚假地理发现的声明的议论，使书的销路受到一些影响。有些人评论不应对参加威尔克斯应负责的考察的军官们严厉责备，另一些人批

评这次远航准备仓促［詹金斯（1850）序言］。

下一集（第六集）是何拉修·海尔的《人种学和语言学》（1846）。同年出版D. 达那的《植物形动物学》和《1849年的地质学卷》，《甲壳学》于1852年1853年出版，1855年出版《地图》，《哺乳动物学》和《鸟类学》、《人种学》、《软体和甲壳动物和植物学的分类》都由来参加这一航次的著名科学家撰写或改编。威尔克斯本人1851年写了第十一卷《气象学》，1873年写了第二十三章《水文学》。两卷图集1850年和1858年问世，有不依靠英国海军制图机构作图的能力为美国人赢得荣誉。

在没有社会关心的环境下监管这些报告的出版和寻求资助是查理·威尔克斯的功绩，科学家可能抱怨他的"甲板作风"，但这一工作持续了30年之久，涵盖了太平洋海域的知识。现在出版的书的缺陷是威尔克斯写的有潜在价值的物理测量应列入物理学卷，却未出版。1873年曾负责出版的国会图书委员会的新主席停止拨款给出报告的出版商，最后结束了这次考察。另外四卷也停止了印刷。

首个印度洋温度断面

因为威尔克斯的《海洋物理卷》从没出版，我们在考察队成员的手写笔记中寻找了可能有气候资料的水下数据。在塔斯曼海的一些系列探测已做了图（例如图5.4），早期的、可能最早的是"海豚"号和"俄勒冈"号归途上测量的温度断面。这一观测资料在约瑟夫·普莱斯维奇汇总和分析1868年前世界深海温度数据时没有提供给他。图5.5标出美国人在100英寻（200米）测的冰下温度，除了标有A和B的点以外都相当一致。对这些低的读数设有简单的解释，我们认为那是测错了。100英寻读数比20世纪我们预计的测量值要高，威尔克斯在"文森"号上也在同一海域记录了一些100英寻的温度，而只有几个读数，大致与俄勒冈号测量值相同。

手写本分布很广，威廉·斯坦东（1975）已搜索了一遍来精选考察各个有趣的侧面和动人的篇章。然而在物理海洋学方面的工作还是

应该进一步研究。

毛利的海洋物理地理学

当威尔克斯为美国国会图书馆领导出版美国探险考察的成果时，另一名海军军官马休·方丹·毛利（图 5.7）于 1842 年被任命为海图与仪器库主管。这个机构后来在 1844 年改组成海军观测与水文局，被赋予新职责，不久他在实际航海中的地位得到国际公认。



图 5.7　马休·方丹·毛利，美国海军观测局主管，在海洋学史中是位重要人物。他最早出版了《风流图》，对航海船长有很大用处。自 1866 年伦敦画报。

毛利 19 岁时进入美国海军军官学校当学员，在大洋服役，跨过大西洋、绕过南美洲、环绕全世界。从 1834 年他发表了一篇《关于合恩角附近航行问题》的文章开始，接着写了一些署笔名的论文，主要是论及他看到的弊端，与他那个时代的海军军官训练，以后他就以

写作为职业了。1839 年 10 月他在一次车祸中受伤，车祸完全夺去了他右腿，使他不能服役。1842 年 7 月他改做案头工作，使他接触到美国海军积累的船舶航海日志。根据这些，1847 年他出版了一套为全世界船舶的船长提供帮助的《风流图》。

此外，毛利还倡议一个计划，要求军舰和商船的船长提供特定的表格和图，他用来编风流图，以及航海指南。图中还表示出鲸鱼栖息地，那时捕鲸还是主要的海洋产业。同时毛利收集了海洋温度、深度和底质的资料。根据他出版的航海指南和其他有关海洋科学的文章，毛利 1855 年撰写了《海洋的物理地理学和其气象学》。1853 年他在布鲁塞尔主持召开了国际海洋会议，制定各国船舶都必须遵守的统一的海洋气象观测计划。他在航海科学方面所做的工作受到国际尊重。虽然他在 1855 年首次出版的《海洋的物理地理学和气象学》是彩色巨册，但在物理海洋学方面却写得很差，常常在物理根据上不足而且组织得不好。

雷利（1968），哈佛出版社毛利著作第八版的编辑评述：

> 但毛利不满足于给实际工作的人以有用的资料，他收集的观测数据需要物理解释，他也在尽力做。为了做解释，他运用了生动的想象力和无限的自信，但仅仅是物理科学的最表面的知识。这些特点使他得到有关大气和海洋环流的宏伟但常常是想象的归纳，为那个时代的科学界所不能接受。

毛利的著作尽管有这些缺点，但因为它在这一领域是唯一的，却印行了很多版，并译成多国文字，1861 年最后一版印行了 20 年，他的《风流图》对当时的商船，特别是更快的快速帆船有很大用处，使他们能以更短的时间穿越大洋运送货物和乘客。毛利在他的书第一版序言（1855，p. 8）航海指南中计算了航行可能节约的运费。他提出航海指南使从东岸各州到加利福尼亚的航期缩短了 30 天，到澳大利亚 20 天，到里约热内卢 10 天。他算出美国每年可节约运费 2 250 000 美元。他有理由说：

> 这些观测者从来没有归入物理科学阵营的分队，他们现在在发展海洋物理地理学的知识，人们从来没有对这些知识那么感兴趣。

毛利和威尔克斯在美国科学的开创的日子里对海洋知识做出了贡献。他们那个时代还得与公众对科学的最实用方面以外的知识都不感兴趣的冷漠作斗争。他们的成就都很宝贵。

调查北太平洋海域

19 世纪 50 年代，紧随加利福尼亚淘金热，北太平洋的海洋活动增加了。成百艘船舶从北美西岸航行既远且广，北到白令海，以找寻鲸油和鲸骨。美国捕鲸人和商人离家那么远，需要保证供薪柴供水港口的安全。这个 10 年内蒸汽动力的发明更使帆船用燃煤发动机作为辅助动力。亚洲港口有好的市场，渴望在美国和中国之间建立有先进航海设施的有利的商路。煤这种神奇的新能源的供应很重要。中国港口的通商权已由英、法在 19 世纪 40 年代订条约取得，但日本列岛除长崎港内一个驻兵的岛屿德岛外，两世纪来一直对欧洲完全封闭。

1853 年美国国会派由 4 艘武装蒸汽辅助动力船组成的船队由马休．C. 佩里准将领导企图与日本天皇谈判贸易友好条约，但被拒绝，佩里回去了，6 个月后率领更强军事力量重来。1854 年 3 月 31 日订《神奈川条约》，允许售予美国船舶供应与燃料，为遇难美国船提供救助。约定长崎、下田和函馆向美国商船开放。美国人着手延伸考察任务至北太平洋岛屿和海岸线，通过考察测绘横跨太平洋航线，汽船可以沿这条航线从旧金山到上海。除较直的桑威奇群岛（夏威夷）航线外，还考虑经阿留申群岛的大圆航线。5 艘船的调查船队由卡瓦拉德・令郭德领导，其中包括发现南极洲的“文森”号和僚舰“海豚”号。1854 年令郭德不适服役，把舰队指挥权让给约翰・罗杰斯上尉。其中一艘后勤船“约翰・汉科克”号是一艘小汽船，它的任务是加煤。为了保证不稳定的燃料供应，船员在勘察加偏僻的海岸发现煤

矿，并进行采煤、装煤的紧张工作。

在调查考察的指南中强调了在科学的广泛领域中获得知识对国家的重要性，很多平民被雇为自然科学家。船舶图书馆充实了北太平洋航海先驱克鲁森斯泰因、戈洛夫宁、布劳顿和拉彼鲁兹的报告。他们带着日本 Ino Chukei 的地图，是驻在日本向欧洲人开放口岸的荷兰物理学家 J. F. 西博尔德从长崎偷带出来的。组建了华盛顿史密森学院以接收和分发考察中所获得的博物标本。

约翰·布鲁克上尉被派往考察队当高级天文学家和水文学家，他发明了新型深海测深装置，成功地用于跨大西洋电缆路由的制图。他在马休·毛利手下的海军观测局工作了1年，他们一同研究如何减少海洋航行的危险。毛利因此在他新版的航海指南中增补了内容。毛利送给西点军校化学教授的海底底质样品使他们发表了一系列有关的论文。

在不熟悉的海域，特别是沿陡峭雾罩的海岸测绘是非常危险的。条约期限有时限制到测绘团体采用小艇，在荒无人烟的北方海岸上扎营。台风损坏了两艘船，1854 年 9 月在台湾附近的“海豚”号和 1860 年 8 月被迫在东京湾搁浅的“非尼摩尔·库珀”号。

黑潮

黑潮这个名字通常冠于在台湾和本州的犬吠岬间的大陆坡流过的强流的连续带。欧洲航海家早已发现它的存在，而美国太平洋调查考察队的有价值的成就是清楚地描绘了这支海流的性质。第一个测量这支海流引起船的漂流的是詹姆斯·金船长和约翰·戈尔 1799 年在“发现”号和“决心”号上，因为他们配备了给詹姆斯·库克第三航次的精密时钟。此后欧洲人在 19 世纪早期海图上把这支海流不太详细地画成经过东海和日本南岸海域的长长的连续的海流。他们知道黑潮源自北太平洋赤道海流。

当美国舰队不仅沿台湾和日本本岛海岸线，而且也在日本群岛链的南方和北方航行测绘时，各船记录了气温、水温和海流矢量。根据

这些记录，西拉斯·本特上尉能对黑潮作出比以前的航海家更详细的叙述。他1856年在美国地理和统计学会发表了有关论述和图的论文，把这支流称为“日本的湾流”。本特说黑潮在靠近它的源头的台湾南端宽度大约延至100海里，在北部的琉球群岛海流宽的500海里。他指出流内气温和水温都显著增加，最高温度86°F（30℃）也和湾流非常相似。在40°左右纬度海流有更近于东向的迹象，一支寒流侵入它和海岸之间。

1861年爆发美国内战，很多调查队的军官都参与了，突然中断了他们正在做的绘制和出版海图的工作，国会没有像为早先威尔克斯考察队一样，没有出版中国海－北太平洋－白令海峡考察的报告，但还是出版了在这些年间需要的各种图，毛利上尉使用了若干海洋学数据于海洋物理地理学的后几版。

在日本大概最先在伊豆诸岛当地仅认为是不长的一段流，在当时的地图中标出。因为日本的排外敕令，使日本实行海禁，孤立了两个世纪。在日本人接近西方文明前，不可能有黑潮是连续、延伸的海流，北太平洋环流的一部分的概念。

Hideo Kawai（1998）收集了日本和中国所有的古籍、图和记录后写出了当地对黑潮海流的知识的历史。他得出结论：黑潮是黑濑川（黑色浅滩上的河流）的同义语，伊豆诸岛居民对在伊豆海岭上的浅海流过的支流的称呼。Kawai引用伊豆诸岛的地方志（1781），叙述该海域有两处特别快的海流，有时可以看得见。

“此岛上人们把这个海流称为黑潮或山潮。小船一旦遇到这支海流，眨眼之间会被带出十日里之遥，因此海员常常害怕这支海流。”[Kawai（1998）p. 535]

他发现在其他地理书籍中，例如南部海道史（1791）的图中，把它画成狭窄的点状带。黑濑川表示伊豆诸岛中八丈岛和御藏岛之间的海流。这里也提到海员惧怕这支海流会冲走他们。但没有把这个现象看成长的连续的海流的一段。

在远洋航行船舶很少到达的海域，像黑潮这样的海流流过浅海海域时，只有在海底地貌会在海面产生可辨认的干扰，或者流过可作为

漂浮体运动的参考的陆标的情况下才容易辨别出来。在 19 世纪 50 年代，日本政府结束了长时间的孤立，开始采取积极地学习西方国家的政策。1855 年在长崎建立海军学校，派遣海军军官出国学习西方的政治制度和技术。1867 年幕府垮台，日本海军拥有 8 艘西方式汽船，日本海岸水文部 1872 年成立。1873 年海军的海岸水文部发起漂流瓶计划来研究日本东南的黑潮。日本海域的海洋学研究在 20 世纪发展很快。

第六章 海洋学的创立

19 世纪 50 年代在加利福尼亚、澳大利亚和加拿大西部发现金矿以后，这些太平洋圈新殖民地的居民增长很快。淘金带来的人口和财富流入慢慢地引起文化生活的改变。在澳大利亚，悉尼大学和墨尔本大学都成立于那个年代，由英国吸引人高水平科学家来领导。1869 年加利福尼亚大学创建，但直到 1888 年智利天主教大学才建立。

澳大利亚博物馆最初是间展室，属于悉尼辩护法庭（1827 年），后来属于首席法官（1836 年），1840 年属于督察长办公室，1853 年新南威尔士州议会由法令组建并拨给固定场所［Etheridge（1919）］。公众对博物学有足够的兴趣支持 19 世纪 50 年代在阿德雷德、墨尔本和布里斯班都建立殖民地博物馆。早期的移民中有不少受过教育的欧洲人，他们选择留在殖民地继续他们的科学事业，知识界的人数增加很快。1860 年维多利亚州皇家学会组织的伯克和维尔斯大陆无人区探险考察队的探险家、科学家骑着骆驼深入未知的内地，另一些人则乘船进入南大洋。两者有迥然不同的困难与危险，早期支持并参加考察的人之一是年轻的德国科学家、维多利亚州皇家学会会员格奥尔格·冯·诺伊梅耶。

海洋气象学家格奥尔格·冯·诺伊梅耶

1852 年诺伊梅耶作为船员首次到达澳大利亚海岸，不久卷入维多利亚淘金的人潮中。那时他 26 岁，是慕尼黑巴伐利亚工程大学毕业生（1849 年物理学博士）。他的专长是地磁，可是他对海洋气象也感兴趣，参加了马休·方丹·毛利对海洋物理地理学的研究工作。

我们不知道诺伊梅耶在维多利亚金矿的运气如何，但他的确对澳大利亚的大地产生了兴趣。他在霍巴特的罗斯气象台做了一段地磁研究，1854 年回欧洲时，在亚历山大·冯·洪堡等科学界朋友的支持下，成功地募集了维多利亚的地磁研究的经费。带着科研资金和巴伐利亚的马克西米连亲王赞助的价值 2 000 英镑的科学仪器，他 1857 年回墨尔本建立地磁和气象观测实验室［Loewe（1965）］。在临时场所工作几年后，诺伊梅耶被称为“教授”，终于得到固定的实验室，维多利亚殖民地政府聘用了他。1859 年他当了墨尔本气象台台长和殖民地地磁调查队队长。他作为政府的气象学者，管辖建立在全国各地的天气站。

诺伊梅耶深入这个殖民地进行地磁调查。他攀登了澳大利亚最高的科西阿斯科峰。当维多利亚皇家学会支持不幸的伯克和威尔斯考察队从南到北跨过大陆时，他跟着他们远至达令河畔的门宁迪。调查队的“二把手”威尔斯曾在气象台当过他的助手。

沿着美国的毛利组织项目的航线，很多船进入已很繁忙的墨尔本港，诺伊梅耶建议向船长收集气象和海洋资料。1859 年他的 4 名助手之一负责整理这些数据，使航海更为安全、高效，并以澳大利亚和新西兰间的纬度圈和沿新南威尔士和维多利亚海岸的经度表的形式出版，提供每年的 3 个月的航海条件。

墨尔本气象台供给参加计划的船长气压计、湿度计和温度计以及空白表格及系统记录数据的方法，要求他们提供每日上午 4 时、9 时、中午、下午 3 时、8 时和午夜的海流速度和方向，风力和方向，罗盘的磁变，海面温度、气压和大气温度。

那时进入墨尔本湾的不仅有本地的商船，还有从欧洲、亚洲和美洲来的帆船。这时是快帆船的全盛时期，它们用大圆航线以节省时间。1849 年北大西洋的大圆航线是在加利福尼亚淘金热时由钟表匠约翰·汤孙提出的，这个原理很快推广到澳大利亚航线。受 1851 年维多利亚发现金矿的新闻诱惑，成千上万来自欧洲的付费乘客急于在最短时间内到达心目中的黄金国，光顾标榜最快的帆船。他们的航线经过大西洋，不停靠好望角，而靠南航行，一般沿 50 度纬度线，甚至

靠近流冰线。这些船带着毛利的《风和海流图册》，此图在华盛顿气象台根据参加计划的航海家提供的记录及时修正。后来美国船不受英国航海法的贸易禁令限制，不久充斥澳大利亚航线，服务于发展中的市场。由海外来的移民使维多利亚的居民在1851年至1860年间增加了7倍，澳大利亚的人口在1852—1858年的6年内增加了1倍。

在这个情况下诺伊梅耶在墨尔本气象台也从由欧洲、毛里求斯、印度和中国到达墨尔本的船的船主处收集气象和航行时间的资料。他编绘了每季度的最佳航线，出版了1856—1862年间收集的资料的报告，包括各月平均流冰线。殖民地的科研经费吃紧，维多利亚政府无力资助，诺伊梅耶不得不在德国出版他的报告。

诺伊梅耶在维多利亚住了7年之后回到德国，成了名人，先是在德国海军部当水文学家，从1876年起在汉堡德国海洋实验室当主任（图6.1）。他继续推进海洋科学的各学科。他努力说服德国海军部和内阁进行海洋科学环球航行，促成了1834—1876年德意志帝国“羚羊”号的首次深海考察。在西经10°附近有一座南极站以他的名字命名。他在墨尔本时，在他的建议下，澳大利亚进行了南极探险，在20世纪之初他成功地组织了德国南极探险：1901—1903年蒸汽辅助帆船“高斯”号的探险。在他的领导下，汉堡德国海洋实验室对海洋学和气象学做出很重要的贡献，特别是极地研究。

海洋学的创立

在19世纪，政府、科学院、博物院和大学里逐渐给职业科学家留下位置，其中包括海洋学家。马休·方丹·毛利从1842年起当了美国海军图集、仪器总管，使他能写出广为留传的《海洋的物理地理学》。在维多利亚诺伊梅耶当了气象台主任研究海洋气象。1872年12月英国海军派遣“挑战者”号舰作环球科学考察，主要是海洋科学考察。“挑战者”号配备了执行例行的海洋和大气物理测量的海军军官，但其整个科学计划则是由倾毕生精力于发展海洋科学的文职科学家领导的。政府不仅资助了“挑战者”号的环球航行，还资助了回来后对



图6.1 格奥尔格·冯·诺伊梅耶，1858—1864年墨尔本气象台和1876—1899年汉堡德国海洋实验室主任。他记录了海洋学资料，使帆船能更快地到达澳大利亚。（汉堡德国国研究所惠赠）

采集的标本和数据的分析，以及由皇家文书局出版的科学报告。后续工作历时20年，耗资5万英镑以上。这个工作的重要意义是它被承认为海洋科学发展的里程碑，各国都认为它是深入研究海洋的巨大推动力。也可以认为它是海洋学创立的里程碑。

海底电报电缆

19 世纪后半叶，海洋技术发展很快，蒸汽动力的应用是很大的进步。海底电报通信要求测量海洋深度。了解海床特性对铺设电缆有实际意义：因为电通过电缆芯传输与工作温度有关，所以常见温度特性也很重要。派出调查船测电缆路由的深度，采集海底底质样品，需要靠蒸汽动力保持调查的“站位”。第一根横跨英吉利海峡的海底电缆铺设于 1851 年，1858 年跨过北大西洋。虽然几周后绝缘不良使信号中断，但其他较短的电缆铺设成功了，而跨大西洋电缆 1866 年换成了新的。澳大利亚商人迅速效法欧洲人，于 1859 年铺设了横跨巴斯海峡的电缆。维多利亚和塔斯马尼亚的政府负担了经费，不幸的是，也只工作了几个星期。美国调查船“塔斯卡罗拉”号（1873—1874 年）踏勘了两条横跨北太平洋的路由，一条在北纬 20°～30°之间，到小笠原群岛和日本横滨，另一条沿大圆航线经千岛和阿留申群岛至横滨。许多电缆的事故都是由于对海床的知识不足所致。电缆工程师对资料的需求刺激了测深与采样技术的发展。

无生带

这个时代对深海的调查不仅是海底电报学推动的，也是海洋生物学的兴趣引起的。爱德华·福布斯在这一领域由于发明海洋动植物垂直分布的新概念而扬名。他研究了地中海，在 1843 年根据在海的垂直剖面某层内主宰的海洋生物而将海洋分为若干带。植物依靠阳光，他认为只能在邻近海面的层内生活，以植物为食的动物也仅存在于这个范围内，以别的动物为食的动物也可能在较深水域，例如 300 英寻生物，他指出在这一深度以下是没有任何海洋生物的无生带。他的分层理论和无生带的名词广为流传。时间流逝，支持动植物生境的证据不断涌现，而否定无生带的证据也出现了。我们已提到过英国探险家在南北极探险中都在极深的海中发现一些生物样本。当时有人不相

信，认为可能这些生物是在海面附近粘在测深设备上的。在19世纪60年代的挪威，著名的米夏埃尔·萨斯和他的儿子格奥尔格·奥西安·萨斯从300英寻以下的深处挖出生物来。美国海岸测绘队在佛罗里达海峡500英寻深度也挖上来生物。验证著名的福布斯理论的挑战鼓励了两位英国科学家做了多次不长的航次试验，先是1868在英舰"闪电"号上，后来1869年和1870年"豪猪"号赴北大西洋进行了挖掘。他们中有福氏教出的学生查理·怀维尔·汤姆孙。他和他的同事威廉·卡彭特发现在惊人的2 500英寻深度仍有生物，英国科学家在"豪猪"号上用改进了的温度计也测出令人信服的4℃的恒温，正符合楞次20多年前提出的悖论。之后科学界大感兴趣，立意更全面地考察深渊。伦敦的科学促进会和皇家学会支持卡彭特的"以深海考察为主的环球航行是适时和有价值的"的建议，还把英国在各国对海洋研究的兴趣不断增长，保持海洋研究的权威性引以自豪。

完全为科学的环球航行

当作出筹备建议中的考察决定后，皇家学会的委员会选出6位民职科学家领导此次研究工作，爱丁堡大学博物学教授查理·怀威尔·汤姆孙是这支科学队伍的主任，年薪1 000英镑。他是皇家学会的会员，曾参加过"闪电"号和"豪猪"号的大西洋航次，他的助手是亨利.N. 摩斯利、约翰·马莱和德国生物学家鲁道尔夫·冯·威尔摩斯·苏姆等三位。约翰.Y. 布查南担任考察队的化学家，约翰.J. 怀尔德担任艺术家兼秘书。威尔摩斯·苏姆是位年轻人，后来死于考察中。水文学家、中将乔治·理查兹爵士兼顾科考队的后勤。英国军舰"挑战者"号是2 300吨的有蒸汽辅助动力的帆船，船长是皇家学会会员乔治.S. 奈勒斯。图6.2是"挑战者"号迎着狂风前进的雄姿。改装船时，只留下两门砲，腾出很大空间，为科学家准备了舱室和实验室，条件比早期航海好，也没有值勤之类的事干扰科学考察。科研队伍总经费为15 000英镑，维护"挑战者"号和官兵的薪饷合计75 000英镑［Burstyn（1968）p. 608］。

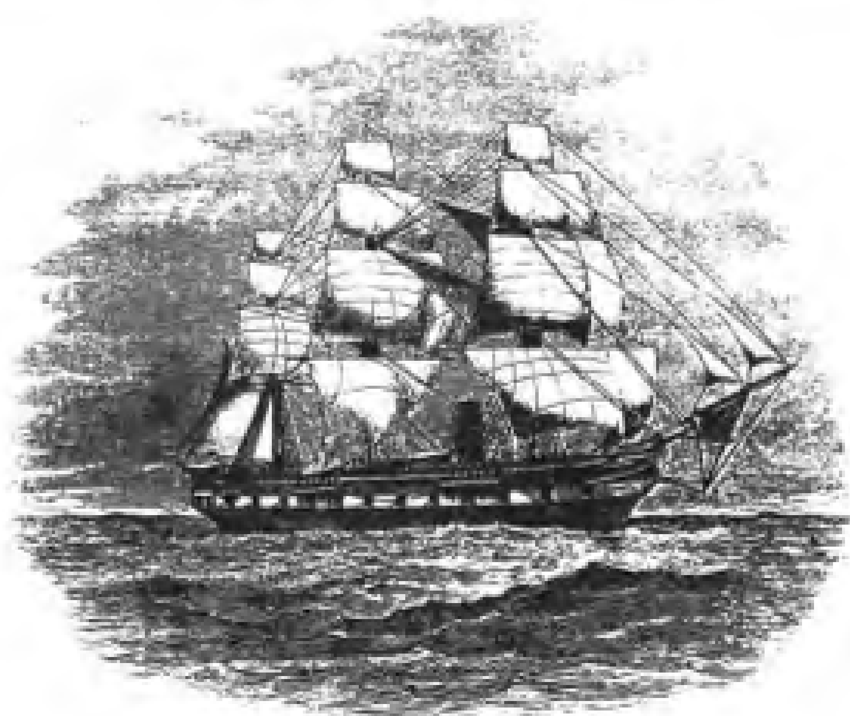


图 6.2 甲板装备了全部帆樯及 1 230 马力蒸汽机的排水 2 300 吨英国帆舰“挑战者”号，它由 1872 年 12 月至 1876 年 5 月对世界大洋的伟大航行是当时最长的连续海洋考察，标志着对海洋科学重视的开端。分析取得的丰富资料花了许多著名科学家近 20 年时间。这次研究活动的中心是苏格兰的爱丁堡大学。

物理海洋学

“挑战者”号考察的目的之一是进一步调查海洋的物理特性，了解这些特性决定了海洋动植物的分布。我们知道物理海洋学很久都是环球越洋考察的海军的一项任务。很多情况下，深入的研究没有假说可供验证，或者说没有先验的结论。但是迫于科学界的压力，当时的政府已计划将物理观测包括在航海指南内。很多航次拨给民职博物科学家经费，供他们研究专业知识。对海洋的物理学并不如此，海军军官的训练常常包括从事物理海洋测量，准备“挑战者”号航行时也是这样做的。军官负责测深和采集水、底质样品和温度测量，以及常规

的气象、地磁和航海观测。T. H. 蒂扎德和 G. R. 贝塞尔两位中尉负责深海温度测量，这时已要求做垂直剖面了。虽然已经有专人测量，物理学家上船对指导物理海洋项目研究还是必要的 [Burstyn (1968)]。例如对数据的解释和温度计读数的压力校正的准确性都有些歧义 [Deacon (1968)]，他们没有坚持使用一些麻烦的新仪器。

这里从怀维尔·汤姆孙处抄下了这个航海的一部分科学计划 (1877)，可见对物理学观测的指南比早期英国科学考察计划更为详尽。

物理学观测

> 横跨大洋时，应在仔细决定的站位进行观测，站位尽量等距离，间隔当然由条件决定。在每一站位必须记录各种观测的时间，天气情况，海面温度，深度，用两台密勒－卡塞拉温度计测出的海底温度，海面及海底水的比重。海底的特性用测深仪器采集海底样品测定，如果可能，还要挖掘。可能时测定水中含有的气体的量和性质、盐和有机物质的量和性质。尽量加密，特别在海流通道处做温度探测，或用西门子式或用密勒－卡塞拉式温度计，用密勒－卡塞拉式时层深间隔为 10 英寻、50 英寻或 100 英寻，以测定不同源所产生的运动的水体的深度和容积。

"挑战者"号没有在太平洋岛屿进行扩张的任务，计划跨过大洋盆，沿纬度或经度，在相距 100 海里规则的"站位"做系统的深海探测，卷起帆做整天的实验。蒸汽作为放下钻头和测深缆的辅助动力。在挑战者号的三位工程师之一斯普莱上尉的报告 (1877) 中，强调了蒸汽动力在深海调查中作为保持船舶站位的重要作用。我们说过在仅有帆动力的船上少数有利条件下做深海调查时早年调查家（如庞隆、多特·德·特桑）的无奈。

指南中指出西门子仪器是一种深海调查的新技术，是 1866 年德

国威尔纳和威廉·西门子利用固体金属的电阻是温度的函数的原理发明的金属电阻温度计，马特豪斯1968年说西门子温度计中由两个感温电阻组成惠司登电桥，其中一个用压重电缆沉入海中，另一个放入加热或冷却油浴或水浴中，直至电流计指示无偏转为止，用水银温度计量浴池中的温度，即得到第一个电阻所在处海水的温度。

密勒-卡塞拉式温度计是前10年西克斯最高-最低温度计的改进型。为抵抗深海的压力，密勒-卡塞拉式温度计有两个泡，外泡部分充以酒精，水压主要作用在外泡上，到不了内泡。用液压标定温度计，可有效测量到3 000英寻。每台温度计都给出静压校正，但后来证明校正太大了。1874年奈格莱蒂和赞布拉发明了颠倒温度计的另一种测量原理，在"挑战者"号抵达香港以后的一半航程中就用了这种温度计来做深海温度测量。首次是在苏禄海做温度剖面测量。这种不需要指针的颠倒温度计在改进后最终代替了西克斯温度计，它的水银线在颠倒时断开，因此能指示颠倒深度处的温度。

"挑战者"号考察队对深海温度的详细、系列测量在考察完成后有可能不仅得出孤立的某层的温度，而且是大洋盆内纬度或经度断面的温度垂直剖面。

指南强调了海床采样以及海底深度和地貌调查的重要性：

> 整个航次中在允许的有规律的间隔距离简单地测海洋的深度是头等重要的目的，只要可能就必须做，即使条件不许可挖掘，或仅能测深也要做。不同地质年代的地理学、动植物的现有分布以及海洋环流的性质和原因的研究对有关地球的过去历史、对海床结构取得更精确的知识会有很大的帮助。

"挑战者"号在3年半内完成了68 890海里的航程，做了足够的深度探测，可以作出大洋盆的平均深度和主要轮廓图，1885年默里做了世界地图，我们在图6.3中绘出其一部分。从其100英寻、500英寻、1 000英寻、2 000英寻和3 000英寻的等深线轮廓可以清楚地看得出各大洋的平均深度都在2 000英寻以上，但它没有表示出海底地

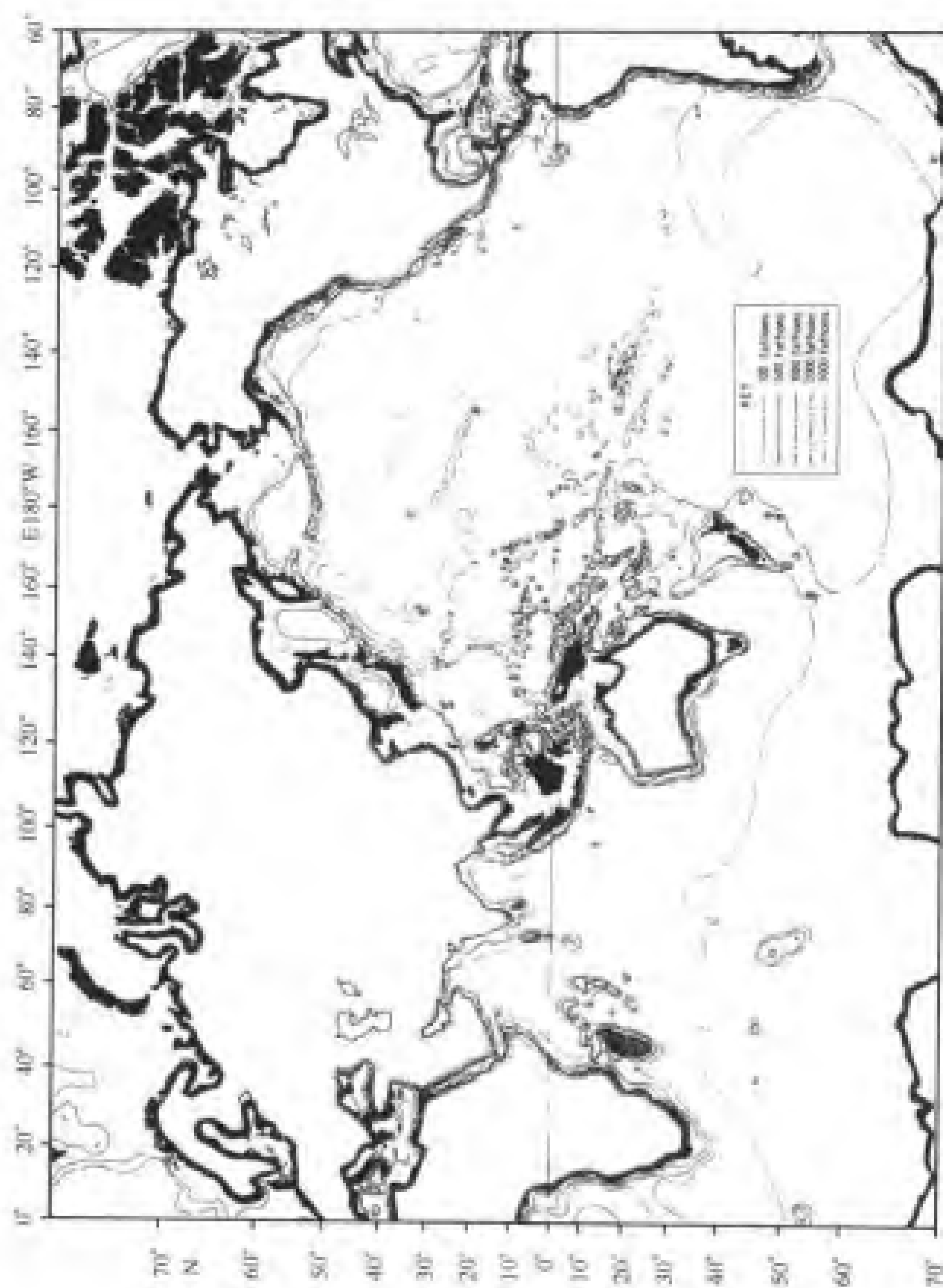

0°
20°
40°
60°
80°
100°
120°
140°
160°
E 180°W
160°
140°
120°
100°
80°
60°
70° N
60°
50°
40°
30°
20°
10°
0°
10°
20°
30°
40°
50°
60°
70°

图6.3

貌的复杂多样。毛利最早用等深线地图表示大西洋，但是“挑战者”号的世界地图才是这类图的第一次，是海洋学的里程碑。我们现在从现代地图上看得到的海底特征当然要更加详细，只有回声测深仪才能发现海底地貌的更多普通性和细节：比珠穆朗玛峰高的海山，像科罗拉多大峡谷一样深的大陆坡峡谷，在水下延伸几千海里的山脉，山上有六七海里深的深谷（深到足以包纳七条大峡谷）。

“挑战者”号航程中测得的最深点在太平洋的马里亚纳海沟，有 4 475 英寻，位于北纬 11°24′，东经 143°16′。1874 年和 1875 年德国“瞪羚”号和美国“塔斯卡罗拉”号考察船也对太平洋特别关注，了解它比其他大洋平均深度更深。知道太平洋还有更多的巨大的海底深沟，构成一系列地壳上的地震活动裂缝。20 世纪同名船“挑战者”号由利契率领，带着 3 名剑桥大学的科学家于 1950—1952 年进行环球科学考察，主要是地震考察，确定马里亚纳海沟的巨大深度为 5 940 英寻［Gaskell and Ritchie（1953）］，在 1957 年国际地球物理年中俄国船“勇士”号发现马里亚纳海沟里还有更深的，超过 6 000 英寻的深度。1960 年，20 世纪技术的奇迹，奥古斯特·皮卡尔设计的“里雅斯特”号深潜器，由他的儿子雅克·皮卡尔和美国海军上尉唐·瓦尔什驾驶下潜了 5 小时，潜到 5 966 英寻深的深沟淤泥底处。

19 世纪“挑战者”号航次用缠在 3 米直径的鼓上的细麻绳测深。麻绳端吊有 200 磅（90 千克）的铅锤，可自由下放，铅锤到底的唯一指示方法是用停表计量绳下放时间，注意记下速度减缓的时间。虽然那时候有人用细钢丝绳测深，但是这支英国考察队仍然坚持使用各种尺寸的麻绳，最细的用于测深，较粗的用于挖掘和拖网。斯普莱上尉［（1877）p. 29］记载了在绳上作记号的方法：

> 每隔 25 英寻作一标记，25 英寻和 75 英寻是白的，50 英寻是红的，100 英寻标蓝色。用毛线标记绳缆，每百英寻嵌一个标记，压在一股绳之里或外区别百英寻的数目。这样使绳缆非常光滑，缠在绞盘上（每个 3 000 英寻），方便地装上测深甲板。

用印度橡胶带做成蓄绳器，能承受加重物的绳缆的力，使船的摇摆平稳。用蒸汽动力卷起测深缆。尽管用了这些办法，整个过程还是需要几个小时。那时已经有了用从海底的回声加速测深的主意，可是过了50年才发明这个技术。

根据测深结果和温度剖面，结合盐度资料，提示“挑战者”号的科学家在北大西洋中间可能有条分水岭。这个假说在“挑战者”号回来以后几年内由观测验证和证实了：1880年的考察船“叛逆骑士”号，1882年的“三叉戟”号。这个海岭以1882年逝世的怀维尔·汤姆孙命名。嗣后的研究工作发现这个由北到南隔开大西洋的水下山系的巨大规模构成水流的屏障，反映在水质和海底动物区系的运动中。19世纪末人们不像过去一样相信大洋底是广阔单调的平原，而认为大洋海底地貌会阻碍或沟通深海水的运动。

系统地采集海面和大气温度仍是调查航次的一部分科研项目，“挑战者”号航次中日夜每隔两小时的记录是必需的，两介质温度的比较也很重要：

> 在有显著的差别的情况下，可反映在一个或几个方面：(a) 风向和风力；(b) 大洋表面水的流动方向和速度；(c) 天气湿度。当天气很干燥时，有理由相信海面温度由于过度蒸发而降低，低于水下数英寻深的水层。应找一切机会比较海面温度与深层（例如5英寻至20英寻）的温度。

对水下各层温度的调查目的是确定温度剖面：

> 温度探测－测定温度，不仅在很宽的地理范围的海底，而且在各中间层，是考察的最重要目的之一；因此应系统地用确保可以比较的方法进行……
>
> 首先在每次深海海底探测时，每隔250英寻，直至1 250英寻的一系列探测似乎已足够了；然后详细填充看来需要的点：某一点与下一个250英寻，或与海底间温度下降很小

时，不需要内插中间的观测；但是如果有几度的突然变化，就应插入中间观测，以确认变化是突然的还是逐渐的。

船队专心致志地从事这个重复性的劳动，航行中做了374次深海探测和255次系列的温度测量。在最深点4 475英寻深处，大部分温度计都碰坏了，斯普莱说［（1877）p，273］是因为受到非常的压力，"约每英寸五吨"的结果。但还有经住考验的，得到的温度为33.9°F（1.05℃），该处海面温度为80°F（26.6℃）。图6.4示在"挑战者"号上读取深海温度计。

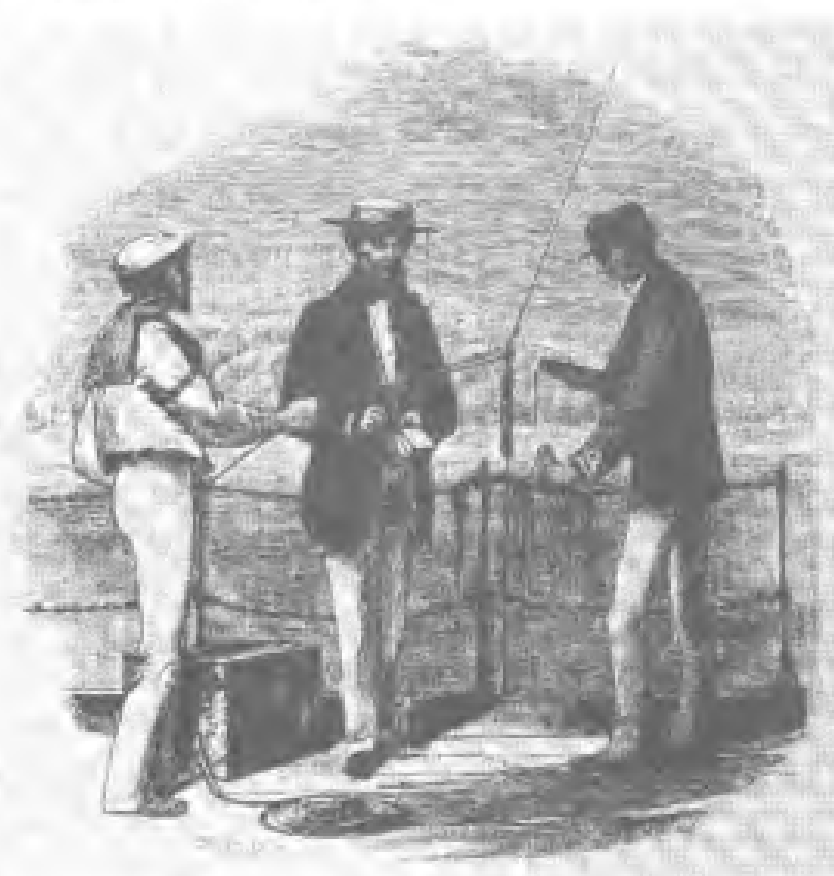


图6.4　在英舰"挑战者"号上读取温度计，此次考察中例行的系列测量中获得的剖面比已往考察中得到的水下温度图像详细。由蒂扎德、摩斯利、布查南和默里（1884）"挑战者"号航行报告第一卷。

航次的前段用西门子电阻温度计，但很麻烦。因为垂直系列测量

每次读数时不需要卷上来，所以曾推荐使用，但它很难准确读数，在开普敦时决定不用，而把它运回家。对“挑战者”号船队啧有烦言，说他们顽固地拒绝提供他们的新技术。用钢琴弦代替麻绳的测深机为例，是1872年6月由威廉·汤姆孙爵士发明的，应用很成功（后来开尔文爵士也用了），但在“挑战者”号上试用时绞盘损坏了［Deacon（1971）p. 306］，后来广泛使用的用钢缆的机器的优点是不需要笨重的绳缆所需的大片空间。1874—1875年美国塔斯卡罗拉号太平洋航次用这种改进了的测深机获得较好的结果，并刺激继续努力以发明有效的测深机［见McConnel（1982）］。

南大洋是指南部中特别关注的海域。考察计划力图向南航行到印度洋的凯尔盖朗和赫德群岛以远以及南纬65°以远。

考察队员很有兴趣看到查理·威尔克斯30年前发现的南极大陆。当他们离他所说的陆地6海里以内时，测深发现海底有1 800英寻深，并不是大陆架，浮冰阻隔他们向前，也看不到陆地。他们并没有到达威尔斯声明发现的“终极陆地”。

在这一纬度考察队发现在覆冰下的上层500英寻深的水比海面温度高3℃［Deacon（1971）p. 342］。我们称之为温度逆变现象，这种现象一个世纪前威尔斯和福斯特在“决心”号上高纬度时也曾发现，但那时斯普莱上尉（1877 p. 106）记录却使一军官科学家惊讶。如果是这样的话，就说明参加量测的人中有一部分对海洋物理中以前曾发现的现象并不熟悉。他们已仔细读过皇家学会的指南，应该了解这些现象。考察队在这种情况下发现极大极小温度计不合用，它只能测出极值，而不能发现在中间深度温度的逆变。当然他们也没有已推荐给垂直剖面测量用的西门子温度计。

曾经在最高纬度检验公认的概念：

> 融冰附近的表面温度低于以下层的温度的原因是由于冰液化引起的混合，这层水为冰所冷却，盐度也低，因此浮在下面较暖、较咸的水之上。在这层测得的比重也证明了这一点。

注意到在另一些地方测出温度不是规则地随深度而降低的现象是：

> 发现较冷层之下可能有暖流，用“海流板”可以测出其方向和速率。而在另一些情况下，可能有暖的水下泉水喷发，——正如亚森松岛附近发生的那样。这种情况下，应尽量准确地找到泉源，并测定其成分。

希望“挑战者”号的观测能提供假想的海面水流向极区而深层水由极区流回赤道的证据：

> 当然，测定表面海流是常规的一部分，但沿探测南大洋深度的测线上特别需要准确观测，以证实一般被称为“南方流系”的大概速率非常慢的海水的存在。也非常需要用“海流板”试验水下是否有从极地向赤道海域的流。

海流板和电阻温度计在“挑战者”号上都用得很少。海流板由四个垂直伸到铁棍上的纤维翼构成［Deacon（1971）p. 339］，用绳子锚泊在浮标或小艇上，能指出水下流的方向。

继续对珊瑚的造礁活动以及水温的异常变化感兴趣：

> 与造礁珊瑚存在的面积和深度的界限有关，非常需要测定由海面向下到珊瑚活动最活跃的区域温度的下降率；我们假定造礁生物的20英寻的界限可能是温度界限。

指南中还包括：

> 潮汐观测——不要遗漏作潮汐观测的机会。用在世界各处合理布置的验潮杆仔细观测是很有价值的。平太阴月内（此时间当然应保留）每隔1小时（最好是1太阴小时，即1

小时 2 分太阳时）精确测量的海平面是非常有价值的资料。

基准面——作为陆地上升或下沉的参考，需要在可能获得足够多的潮汐观测时建立海洋平均海平面——永久基准面，记录相对于该平均海平面的日期和高差。即使记下在某一天某一时间潮汐上涨的高度也会在将来的年代有作比较的可能性。

求平均海平面的好方法是简单地取平均，至少两天，有限的观测数目即可，把太阳日和太阴日均匀分布，分成至少三等分。

除了观测显著的海洋正常波浪外，观测队应仔细地记录地震引起的波浪的情况。

比重——测深时，应仔细比较海面和海底水的比重；每当做剖面时，应测定中间深度的比重。每次测定比重时应仔细注意温度；应用最好的表格修正到标准的 60°。最好用天平比对最重要的结果；存储样本以备回港检验。当海面温度高，特别在热带海域时，应每隔 10 英寻采一样本，以确认是否有蒸发影响较上层的比重，以及这一效应影响到多么深。

在中间深度测量比重获得一些重要数据。约翰·布查南注意到在大西洋水的比重减小到一均匀的温度，随深度减小到 400～500 英寻（800～1 000 米），然后缓慢增加，直至海底。他发现在 800～1 000 米深度有一层较低盐度的水，虽然没有立即认识到这一发现的重要性，但它事实上指出存在海面以下的向北移动的水团，现在称为南极中层水。这个水团源于南大洋环极海域海面，在亚热带辐合带下沉到相应的中间密度层［Deacon（1968）］。对“挑战者”号剖面量测的进一步分析和嗣后的考察发现低盐水团由南半球高纬度而来，广布于太平洋和印度洋深处，甚至跨过赤道进入北半球。随着海洋科学的发展，由其盐度、温度和溶解氧特性识别水团成为判断其规模和流型的通用方法，因为直接测量海面以下那么深的移动是很困难的。

估计光在大洋中的透射是后来几十年内海上考察的课题，它是了解海洋植物和动物分布时感兴趣的。这个世纪早期天王星号航次博物学家J. R. 库阿和J. 该马观测到造礁珊瑚在明亮的浅海中很活跃。“挑战者”号指南要求用传统方法及西门子制造的若干光学仪器作光学观测，但我们在公开资料中没有看到光透射表或透明度白盘数据。可能这是没有照指南做的一个方面。

“挑战者”号考察的指南中还有丰富的化学观测项目：

化学观测

“挑战者”号装备有化学实验室。

(1) 应在海面和各种深度，以及各种条件下采集化学分析用的海水样品，每一样品应置于文彻斯特一夸脱（1.14公升）玻璃塞瓶子里，用带子密封塞子，使样品不受扰动。

(2) 同一水样一部分在采集后立即在真空中煮沸，收集气体，尽量精确地测定其体积，另一不少于1立方英寸的一部分，气密地封于玻璃管内，便于送回家作详尽的分析。

(3) 频繁在海面取得的和其他在有机会时在下层取得的海水样应立即或尽快作氯度测定。这种操作易于在极恶劣天气下完成。而可靠的气体分析不可能在船上做，除非船在港口或非常平静的天气时做。

“挑战者”号上有采水用的改进了的采水瓶，计有两种。图6.5所示滑盖水瓶，斯普莱（1877）说：“有青铜杆，用三个辐射方向的环拉紧，作为封住水的青铜活塞的导杆”。瓶卡在测深缆上，在瓶下放时用细缆把活塞吊在瓶内腔上方。瓶到达海底，测深缆和小缆的张力松弛，活塞掉到腔内，把海底的水样封在容器内。

另一种采样瓶的结构是两端装有龙头的3英寸直径青铜管。瓶下放时水自由地通过，在需要的深度关闭，这是布查南为中间深度用制造的。

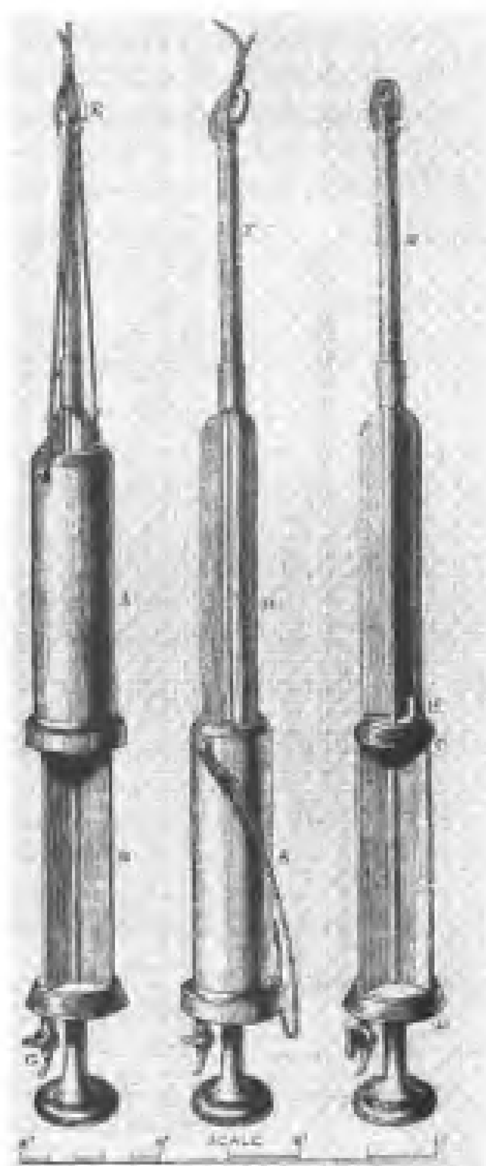


图6.5 “挑战者”号上改进后的采水瓶

“挑战者”号考察从各种深度和位置采集的水样在19世纪80年代做了仔细的分析［Dittmar（1884）］，证明了不管溶解盐的总浓度怎么变，在什么地理位置、多大深度，比较丰富的成分之比在世界各大洋几乎保持不变。这证实了研究海水化学成分的化学家亚历山大·马塞特（1819）和格奥尔格·佛奇哈默（1865）提出的假说。早年的化学家没有得到多少太平洋的水样。“挑战者”号考察队提供了来

自比以前更深、更广的水样的数据。

证明海水中化学离子间比例大致相等是揭开深海水团循环规律过程的重要的一步。知道一种主要成分氯化钠溶质的百分比，就有可能以令人满意的精确度计算出水样的总盐度。应用佛奇哈默提出，经迪特马强调的氯度的概念，操作比全化学分析更简单更快。又因为盐度是“保守”特性，在深海海水中只在相信水团边界混合时才变化，确定盐度，与温度一起，有助于识别不同水团，追踪其运动。

在20世纪20年代斯堪的那维亚气象学家V. 别尔克内斯和B. 赫兰德－汉森发现数学理论能把水温和盐度数据翻译成流速和流向。60年代又提出更好的定义盐度的方法，即用电盐度计测量海水电导率的方法（见第七章）。

海底采样

（1）采上的海底的样本应仔细地干燥并保存，以备检验与分析。

（2）海面附近和各种深度捕到的鱼的鱼鳔的气体应保存备分析。每次都应记录鱼的种类、性别、大小，特别是捕到的深度。

现在调查船能根据鱼鳔的声反射强度估计鱼的数量。

“挑战者”号在大深度采集的海底样品是用两种型式的空心测深杆得到的，一种叫“海蛇怪”，是1英寸直径的青铜管，安上测深重锤。每个平均重一英担（50.8千克）的圆柱形铸铁沉块在触底时从杆上脱落，管状杆把样本带回。另一种是C. W. 白理研制的，挑战者号队员用得更多的是“海蛇怪”的改进型，杆的直径比较大，能带回更大的样本。

“挑战者”号的科学家发现海底覆盖了浅灰色淤泥，在显微镜下看到微小的海洋生物有孔虫的石灰质残骸，而在3 000英寻以上深度采上的是深色黏土，至于黏土的来源有几种设想。当发现黏土中居住

着环节动物蠕虫类的海洋生物时，证明即使在万丈深渊也不是完全没有生机。几乎100年后的里雅斯特号深潜器的灯光在马里亚纳海沟漆黑的深处发现了更复杂的生物——1英尺长的扁鱼。

在太平洋海域的"挑战者"号

"挑战者"号的航次1872年12月从朴次茅斯出发，第二年到大西洋。1874年在好望角停留后在印度洋向南航行，远至南纬66°33′，3月到达墨尔本。英国的维多利亚殖民地热情地接待了他们，使他们感到终于"到家了"。航行报告记录了在巴斯海峡挖掘和拖底，在新南威尔士海岸以外加勃岛以北2 200英寻深处测量温度。

根据他们列表的两小时一次的海面温度，图6.6中画出日中时的值，标出巴斯海峡东边的海面锋，1980年戈德费莱、琼斯、乌克斯威尔和斯科特才来研究，而在他们之前100年已意识到它的存在。在巴斯海峡锋面隔开塔斯曼海温水和巴斯海峡冷水，使冷水沉到较轻的温水下面。沉到海面以下的冷水离开大陆架时产生很大的水下瀑布。新一代的海洋探险家找油时钻探了巴斯海峡的阶地。尽管过了100多年，我们还有很多不明白：海流速度多少？海流冬季比夏季大吗？海流会折弯石油勘探船的钻杆吗？巴斯海峡的水似乎在几百米深扩散到塔斯曼海，带着它的温度和盐度信号。在海面几年的巴斯海峡水的巨大透镜形成了海洋温度跃层的一部分。

在新南威尔士南部海岸外以东10海里100英寻线的测站，他们发现温水（71°F）海流以每小时1.5海里的速度向南流，但71°F的温度只限于海面附近，到了50英寻只测到65.2°F，第二天船继续向北，但更靠岸，海面温度降到68.5°F，海流很小，或没有流。他们已经走到往南流的东澳大利亚海流里，而在杰维斯湾到杰克孙港之间靠近海岸处又碰到了海流。[Tizard et al.（1884）p. 464]

澳大利亚调查队在墨尔本和悉尼停留了两个月，两市市民的款待舒缓了他们海上工作的辛劳。当"挑战者"号在悉尼港时，怀维尔·汤姆孙和默里率一小队到昆士兰的马里波罗调查马里河上游的动物。

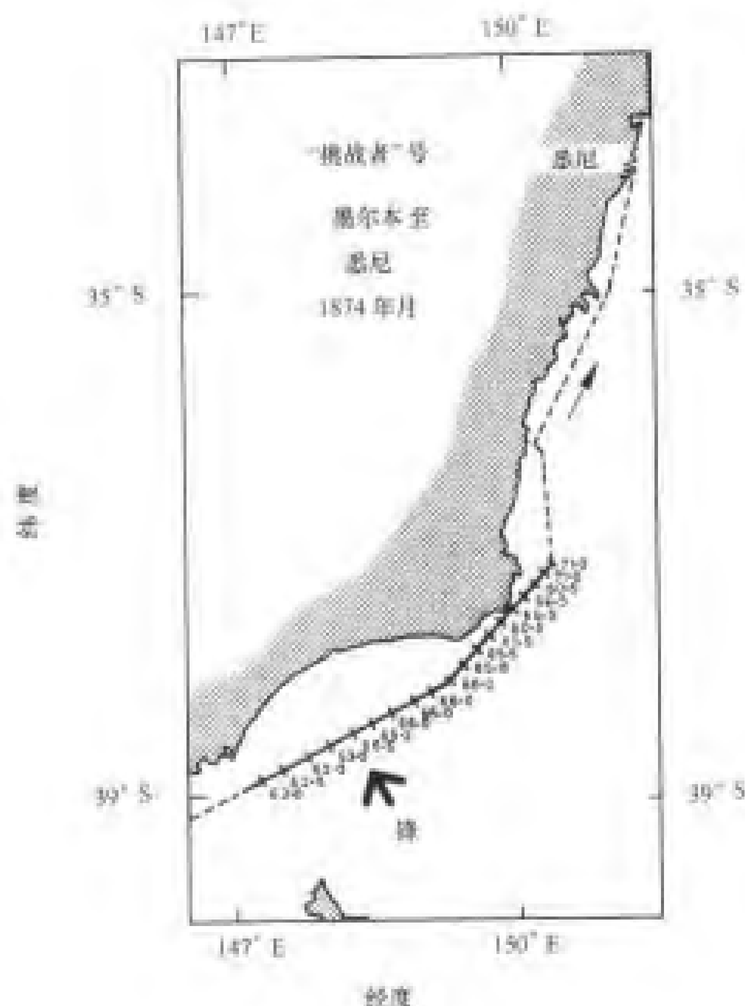


图6.6

他们很高兴地在马里波罗税务官舍利丹先生处找到了亲情，他是"一位很聪明的，对自然科学有可观的专门知识的人"，不仅陪他们一起，而且后来努力采集和运送他们感兴趣的动物界的一些种的样品。经过这些接触，帝国的遥远殖民地的业余科学家提高了兴趣，开辟了对双方互利的通信线路。客人在离开悉尼前接待本地科学家在岬角外做了一天的挖掘和网拖，展示了他们研究稀有样品的技能和设备。成绩并不突出，但表示了很好的关系。

当"挑战者"号跨过塔斯曼海去新西兰惠灵顿时，沿着大陆架做了测深线，帮助确定联系澳大利亚与新西兰瓦卡普阿卡的水下电缆的路由，在悉尼至惠灵顿断面获得的资料说明路由的大部分是泥沙底，

适于铺缆，南方大陆和中国电报公司东方公司1876年用“海伯尼亚”号和“爱丁堡”号铺设了这条距离达1 283海里的电缆。“挑战者”号经过塔斯曼海时距悉尼20海里处碰到了温暖的东澳大利亚海流的南向支流。到离岸50海里远海流仍存在，在这一点温度逐渐下降。记录了温度，估计流速在每小时1～1.5海里之间：

> 在海流的核心测得的最高温度为70.7°F。可惜小船在更好的观测海流中心的流速时不可能用采底样的缆抛锚，而天气非常恶劣，有强风巨涌，所以流速只能根据船位差推算或观察计算［Tizard et al.（1884）p，464］。

这次考察绘出首幅跨过东澳大利亚海流的温度断面。

“挑战者”号驶过荷属群岛，访问了著名的香料群岛的安汶、班达、特尔纳特和提多尔之后，在往香港之前在西属马尼拉过了1个星期。他们在香港英国海军码头停了7个星期修船，收到了家书，得到了奈格莱蒂－赞布拉颠倒温度计。更换了指挥官，奈莱斯船长受命担任在英国组建的新北极探险队的指挥官。“挑战者”号的新指挥官是弗兰克·汤姆孙船长。

考察发现苏禄海和其他澳大利亚以北印尼群岛间半封闭的海都由不同高度的海底山脉分隔开。用奈格莱蒂－赞布拉颠倒温度计测量一系列海面下温度，测出在分水岭深度或接近深度处，温度不再像通常一样随深度而降低。这可解释为极地来的冷水不能进入这些隔开的海域，正像已经证实的由于同样道理冷水能进入直布罗陀海峡进入地中海一样。大洋环流图像的概念逐渐与海底地貌的测量结果融合。“挑战者”号考察队与前辈一样发现在赤道海域比较薄的温水层覆盖在深层的冷水之上。

1875年4月“挑战者”号到达江户（东京）湾入口的横须贺。军官们为港内商船、经商的中国帆船和军舰的繁忙感到惊讶。“挑战者”号在横须贺的船坞里停了一星期修好了损坏了的舵，船上的军官们愉快地看到刚刚向西方开放的地区的景象。修好船后“挑战者”号

在湾口浦贺水道测量了深度，平均为350英寻。然后驶往大阪湾的神户，有很好的机会在内濑户海挖取海洋动物。

“挑战者”号回到江户后，在港内举行了赠送给设在江户的日本帝国海军学院分院技术设备的正式仪式“海底调查聚餐会”，请了很多日本官员，有不少英国和法国侨民参加，还有很多日本女士。表演了测深，放下拖网，捞上贝壳、石块和海洋生物样本，取了水样，放下颠倒温度计测温度剖面。测得港湾平均深度为120英寻。在严肃的科学考察之后举行了午餐和音乐会。

为船补给装煤之后，考察队6月2日起航横跨太平洋到火奴鲁鲁，航线选择在前1年美国“塔斯卡罗拉”号测绘的旧金山海底电缆的路由中间。

在距夏威夷群岛约1 000海里2 740英寻深度，“挑战者”号的拖网拖上大量圆的“土豆形”的石头，含有铁锰氧化物层，引起科学家很大兴趣。其中有些是在小核外生成的浮石，有一块包着巨大的鲨鱼牙齿，大多是在3 000英寻以深发现的。这是个重要的发现。现在知道这些结核中除锰以外，还含有钴、镍，建造专门的船从海底采集。

船在火奴鲁鲁停了两个星期，客人感受到西方传教士和商人文化对当地波里尼西亚社会的影响。为答谢皇家和法官的款待，请他们上船观看科学演示，船员与夏威夷国家唱诗团一起演出。

“挑战者”号在南太平洋停靠社会群岛的塔希提，仍然以在海上常规测深与海底采掘演示答谢原住民。安排了到名胜去游览，最感兴趣的是名为金星角的岬角，那是1796年库克船长和他率领的科学家成功地观测到金星凌日的地方。

“挑战者”号从塔希提驶往智利海岸的瓦尔帕来索，风向不顺，他们不得不绕远往南走追上环绕南纬40°的西风。他们在潮湿的热带里困了9天，在那里又找到大量的锰结核矿。然后考察队到达深水港瓦尔帕来索。城市西方化，港湾充满了帆船和沿海汽船。瓦尔帕来索是圣地亚哥城市的外港，有铁路相通。博物学家造访了圣地亚哥，他没有与科学界接触。智利的第一所大学1888年才在圣地亚哥建立。

在瓦尔帕来索做了岸站观测，“挑战者”号在离开太平洋穿过麦哲伦海峡进入大西洋前按惯例做了漂浮实验，求出罗盘和磁针的偏差。

1876年5月他们回到英国，航程68 890海里，历时3年半。

国际化前景

“挑战者”号回国后，怀维尔·汤姆孙负责报告的分析和出版。与美国探险考察队一样，也出现了民族主义问题，就是谁有权研究考察带回来的样品。怀维尔·汤姆孙坚持不分国籍把工作分配给他认为最有资格的人，但有人反对。例如他从美国挑选了他从前研究工作的合作者亚历山大·阿加西兹［Deacon（1971）p，367］。阿加西兹一直保持着对海洋科学的兴趣，直到20世纪初赢得卓越海洋学家的地位，他从马萨诸塞州剑桥来到爱丁堡的“挑战者”号办公室研究海洋样品。很多国家的科学家都拜访过怀维尔·汤姆孙建立的办公室，来参观标本，或帮助分类。查尔诺克（1973）把办公室称为“无形的海洋科学学院”。

关于海洋科学的非常新的领域——深海沉积物的分支和分布的报告是约翰·默里和比利时地质学家与矿物学家A. F. 雷那合作完成的，后者还绘制了一些海底沉积物的分布图。我们已经说过海洋科学的国际合作时代1853年布鲁塞尔会议时已以有限的方式（组织协作观测）开始了。对“挑战者”号标本的研究开创了不同国家海洋科学家有更多机会合作的时代。

后续的工作延续了20年，各种基金资助了5万英镑，在维多利亚女王的盛世研究工作是政府出资的“大科学”。勃尔斯太恩（1968）估计完成50卷总结，这样的宏大的科学事业的总经费在20万英镑左右。

效益

“挑战者”号考察的一个非常明显的效益（最初对英国后来对澳

大利亚联邦政府）是发现圣诞岛磷矿。赫德曼（1923）指出英国政府从这项产权中赚的比“挑战者”号考察和研究的总开支还多。“挑战者”号采集了珊瑚标本，经约翰·默里分析，发现了印度洋中这座岛屿的磷酸盐沉积，这项发现使默里在汤姆孙去世后负责“挑战者”号报告的出版，说服英国政府占领这座岛屿，为圣诞岛磷肥公司取得开采许可证。默里把他们所得用来进行海洋学研究，用它资助他参加的科考船“米海尔·萨尔斯”号大西洋考察［Burstyn（1975）］。约翰·默里1882年在怀维尔·汤姆孙早逝后接替了组织编写“挑战者”号报告的责任，由于他对海洋学的贡献而赢得爵士的封号。

第七章　当帆船让位于汽船时

“挑战者”号环球航行和其发现的出版引起国际极大兴趣，激励了其他欧洲国家和美国相继进行海洋航行。《“挑战者”号报告》的出版历时20年，不仅涵盖参加这一航次的科学家和军官的工作，若干年后常常也包括其他国家和其他航次的发现。

“瞪羚”号航行

1874年，“挑战者”号还没回到英国时，新建立的德意志帝国就用蒸汽辅助动力的“瞪羚”号进行了类似的，但没有那么全面的环球探险，其船长是冯·施莱尼次男爵。海洋课题的组织者是格奥尔格·冯·诺伊梅耶，他当时从澳大利亚回国担任德国海军水文学主官。这个航次的一个目的是搭载6名天文学家去南印度洋的凯尔盖朗岛观测金星凌日，已知自120年前詹姆斯·库克首次在塔希提观测到后，1874年再次进行观测。德国海军军官在出航前特别向诺伊梅耶学习了他们将要使用的仪器，为了积累水文测量的经验，要求他们每天记录6次气象和海洋状况，以及采集深海沉积物和游泳生物的样品。“瞪羚”号上仅有1名民职科学家随航。

“瞪羚”号停靠凯尔盖朗岛和毛里求斯后，航行到不毛的澳大利亚西海岸的德克哈托格岛，然后向北进入印度尼西亚群岛。像以前的很多先驱航海家一样，他们也染上了痢疾和热带热病，于是决定沿昆士兰海岸柯提斯塔和布利斯班寻找休整地。船上有12名水手死于疫病。1875年10月“瞪羚”号由布利斯班跨过塔斯曼海。1876年2月到了新西兰北岛，然后通过麦哲伦海峡，探险队在蒙得维的亚港遇见

“挑战者”号。两位船长为了使航线尽量延长，商定沿不同航线越过大西洋。

在德国海军出版的航次官方总结《海军水文报告》（1888）中，各类专家总结了科学的数据。画出深海温度部分，解释为南极冷水的深海海流，补充了洋流的知识，补充的数据修正了楞次关于子午线大洋流对称的理论（见第三章）。楞次提出极地的底层水在赤道上升并混合，构成赤道海水浅层以下可见的较冷海水。在20世纪最早的几十年，德国海洋学家利用“瞪羚”号和“挑战者”号的温度和密度观测，得出所有大洋包括北大西洋的大部分冷底层水都是来自南极的结论［Wust（1968）］。

“勇士”号航行

1886年至1889年间，俄国轻巡航舰“勇士”号在S. O. 马卡洛夫指挥下，在北太平洋进行了大规模的航行。航次中每4小时记录1次气象和海洋观测数据，海流边界甚至加密到每小时记录1次。在一些“站位”做更细致地观测，如日本海、鄂霍次克海、千岛群岛周围、台湾海峡、朝鲜海峡、北海道与库页岛间的宗谷海峡等。从“勇士”号站位在深至400米（有时800米）测得的比重和温度数据可以看出相邻水团间的边界（后来称为“锋面”），这些观测数据和先前的观测数据及商船航海日志的记载，共同编成《马卡洛夫的“勇士”号与太平洋》，1894年在圣彼得堡用俄文和法文出版。

马卡洛夫把黑潮叙述为先向东北流过台湾两岸，一支在台湾以南向西，环绕中国海。主流到达日本海，他把一支经朝鲜海峡进入日本海的海流称为对马海流，这个名字已有德国地质学家用过了。

马卡洛夫指出对马海流并没有占满整个朝鲜海峡，而靠着它的东边，沿日本海岸向东北流到本州和北海道间的津轻海峡。马卡洛夫对比重的观测构成他的推导的主要部分，认为只有一小部分的温暖的水由津轻海峡流出，经朝鲜海峡进入的海水的大部分继续向北进入宗谷海峡（图7.1）。

图 7.1　日本周围的海

马卡洛夫说，黑潮主流不接触日本突出的岬角，也不进入内海。它沿着日本海岸流，直到犬吠岬（东京湾以北）然后转向东。然而在日本与堪察加之间航行的船舶的某些观测数值发现一些温暖的水流过犬吠岬的纬度向北。他下结论说，黑潮的北界很少越过北纬 40°，然后海流就转向东了。

渔业保护的合作研究

19 世纪末北大西洋沿岸国家遇到在它的传统渔场内渔业资源枯竭的严重问题。斯堪的那维亚国家非常重视，它们的科学家为此付出很大心血和精力研究海温的变化及气候与海洋的相互关系，以解释渔业资源的变化。挪威政府委托建造装备齐全的考察船，名为“米夏埃尔

·萨斯"，主要研究可能引起起伏的温度和盐度的物理状况。其他欧洲国家也组织了科考航行，海洋国家打算支持有实际目的的保证重要食物来源的渔业研究。为了实现共同的目的，1902 年在哥本哈根建立国际海洋考察委员会（ICFS），后来在克利斯提安尼亚（奥斯陆）建立国际实验室，试验了水样，研制了为特殊需要专用的仪器。这一国际组织的目的是协调和规范大多数大西洋国家，也包括加拿大和美国的研究课题。

一个重要的改变是用较短而较深入的地区考察代替长距离航行。特别注意研究大洋谷和浅海内动力构造的理论概念的建立和验证，海气交换成为专门课题。

ICFS 的成立是迈向国际合作的重要一步，而现在认为这对海洋学发展是非常重要的。20 世纪西欧科学家研究海洋环境，为之开发数学方法以建立、发展大洋水体运动的理论。19 世纪末斯堪的那维亚的海洋科学最先进，为了解可食鱼类迁徙的需要所激励，物理海洋学特别活跃，1894 年瑞典、丹麦、德国、苏格兰和挪威的船舶组成联合考察队，在它们的邻海中规定的深度观测温度，测量水样盐度。

19 世纪的科学考察发现海洋生物的极大多样性，唤起研究海洋生物学和动物学的热情显著地高涨。海洋科学地方同业学会在欧洲及其殖民地先后成立，很快证明建立沿岸实验室可以从事海洋生物学，研究海洋动植物的生命周期。首批这种实验室之一由一位德国动物学家安东·多恩于 1872 年建立在那不勒斯，意大利政府划给那不勒斯湾旁的土地，德国政府给予资助，由世界各地的科学界支持，科学家在动物学站里各占有一席之地。1882 年意大利海军支持有辅助蒸汽动力的帆舰轻巡航舰"维多·皮萨尼"号作 3 年环球航行，由海军军官加叶塔诺·切尔奇亚指挥（后来当了海军副司令），他曾在那不勒斯实验室专门学习深海测深测温，采集和保存从各个深度获得的海洋生物。19 世纪的最后 10 年很多国家都建立了一些沿岸台站，引有循环海水养活海洋生物样本。很多海洋实验室及时扩大它们的业务，研究物理海洋学和渔业，甚至还包括维护自己的调查船。

太平洋圈上的海洋研究机构

为了研究太平洋的动力学，在美国西海岸圣迭戈附近的拉霍亚建立斯克里普斯研究所。它成立于1903年，是当地科学团体的独立海洋生物研究实验室，由富翁冠名建立，而在1912年成为加利福尼亚大学的一部分。研究所的第一艘船是慈善家E. W. 斯克里普斯赠予的私人游艇。后来拥有专门制造的调查船“亚历山大·阿加西兹”号。现在这个研究所拥有调查船队，对物理和化学领域比对太平洋的生物学更为关心。其他研究北太平洋渔业的实验室在加拿大和美国沿岸建立，同时俄国、中国、日本等也建立了海洋机构和调查站，研究海洋知识的各个领域。

北太平洋沿岸的第二个海洋实验室是加拿大生物研究所，1908年在不列颠哥伦比亚的那那伊莫港启程湾建立。当时是因为当地1870年兴起的罐头业的资源鲑鱼和鲅鱼减产。修建的横跨大陆铁路打通了内地和东部各省的市场，1892年才用冷冻车运送鲜鱼。1905年加拿大联邦政府在加拿大皇家学会怂恿下成立不列颠哥伦比亚渔业委员会，研究管理这项国家资源的科学问题。根据Johnstone（1977）资料，在启程湾建立的太平洋生物学站早年的活动并不像大西洋岸的圣安德鲁站那样广。后者与西欧的实验室已开展较多合作，他们于1913年购买了一艘船用于在启程湾较远范围内的工作。没有选用帆船，而是选用40英尺长的20匹马力汽油艇。1923年在太平洋沿岸更北的鲁珀特太子港建了另一所实验室。

欧洲的拿破仑战争使太平洋各处的西班牙统治从它的殖民地退出。1808年拿破仑的兄弟约瑟夫推翻了西班牙王室。第一章所说的马拉斯皮纳领导的西班牙海军派到这个地区的末次探险是在18世纪90年代。战后若干年的1818年，前殖民地智利独立，接着智利海军接手巡逻它漫长的海岸线，不久也绘出了当地的海图，它们的第一次水文调查开始于1834年12月的双桅帆船“阿基勒斯”号。指挥官罗伯托·辛普森测绘了布埃诺河口和附近的海岸，最南到南纬40°。然后

1874年5月智利海军创立水文研究所，佛兰西斯科·维达尔·德·古尔梅兹成了第一位所长。那时他已进行了从瓦尔帕莱索到绰诺斯群岛的该国大部分海岸的深入调查，补充了20年代和30年代来访的英国船“发现”号和“猎犬”号及1873—1874年间的“挑战者”号获得的资料。智利成立水文所后，其海军调查船增加了科学活动，包括在邻近海域观测温度、盐度、海流及潮汐，结果在研究所的年鉴中发表。海军还用于考察智利的南极领土，1916年8月智利军舰“那尔科”号负责营救欧内斯特·歇克尔顿爵士率领的“忍耐”号英国探险队（Barros，1980）。

我们已经知道北太平洋19世纪末最全面的海洋学报告是“勇士”号俄国调查船的报告，1894年马卡洛夫的报告中没有援引亚洲沿海国家人民的贡献。根据1858年条约若干日本港口对外开放通商，美国人和英国人在这一海域积极活动。英国海军派了几艘调查船，著名的“阿克泰O”号和“西尔维亚”号进入亚洲海域。它们是帆船，但有时有60马力蒸汽动力炮艇协助。当时日本政府派了导航和翻译，一些年轻的日本军官学习海洋测绘技能，并在1872年设立了日本海军水文课，1882年左右日本海军测绘局出版了很多沿岸海图和航行指南。英国的测绘工作1883年结束，Nitani（1972）和Kitano（1980）告诉我们，日本海军1893—1896年用漂流瓶考察日本以东和以南的黑潮。农商部1885年组织了系统的渔业研究，1898年成立了渔业研究所。20世纪渔业部门大力推进日本的海洋学研究。

直到20世纪20年代中国才开始参与世界各地都已开展了的现代海洋科学研究。历史上一个阶段世界最先进的造船和航海科学国家并没有保持下来。最晚9世纪中国帆船已驶至锡兰和印度马拉巴海岸（Song，1986）。那时的航海技术领先于欧洲国家，发明了浮式磁罗盘，用艉舵操纵船，把航海船体分成几个水密舱以提高安全性等，从而提高发展了航海技术。当时的船用很多大木料制成，用竹加固，可抵御强风。中国人与印度洋的阿拉伯人都了解季风的特性，依此制定他们的出航和归期。这种贸易航行到15世纪初到达顶峰。明朝第三个皇帝成祖朱棣曾派遣巨大的船队到南亚、印度以至红海、波斯湾和

东非海岸。比哥伦布跨过大西洋，瓦斯科·达·伽马由葡萄牙环绕非洲进入印度洋和麦哲伦由西班牙进入太平洋几乎早了一个世纪。

在1405年至1433年间历史性的七次朝贡贸易远航中，外国使者在中国船上带了贡品给中国皇帝换回礼物。外国使者带回精细的瓷器、漆器和丝绸、珐琅和古籍。远航的翻译马欢在南京办了学校教授波斯、印度、非洲语。郑和把航线画在详细的长条海图上，不仅画出导航星宿的位置，还详细指出显著的障碍和陆标，并在历次航行中不断修正。但在明成祖死后，与西欧海洋国家实行大规模的海上探险和殖民计划相反，只在1834年进行了最后一个航次，从此中国进入了锁国时期。船坞闲置，禁止远航［Levathes（李露晔），1994］。因此中国丧失了征服海洋的积极性，直到20世纪20年代才建立研究机构，提高海员的航海和科学技能。

1922年为提高航海技能在海军部内组建了制图和航海部门，1925年在上海建司令部总管水文和航海业务。30年代出版了30多张海图和1卷航海图。同时厦门大学开始研究海洋生物，发表了研究水产的新成果。1928年在山东半岛的青岛观象台建立第一个海洋管理机构——海洋科，出版了半年刊，以发表海水、潮汐现象和海底底质性质的文章。

杨文鹤、陈伯镛、王辉在《二十世纪中国海洋要事》（2003）中论及1935年发生的大事：南京成立太平洋科学协会与世界的科学界联合。接着有很大发展：山东大学和厦门大学加强了生物研究。海军部在南海的东沙岛建立观象台、无线电台和灯塔台。1935—1936年北京研究院与青岛市政府联合组织青岛港及邻近黄海海域综合科学调查。同时北京和中央研究院组织了渤海的同类调查，在烟台、定海等沿海建立海洋研究机构。

中华人民共和国成立之后开始建立海洋学院，建造远洋调查船，发展了海洋科学研究。1979年派两艘调查船参加西太平洋第一次全球大气实验计划观测是一个里程碑（Wang and Chin，1990）。

海洋技术

在帆船谢幕的日子里，欧洲的产业革命使技术进步，海洋研究的设备发生显著改进。制造过程的改进为采水瓶和温度计提供了具有更好绝缘性能的新材料。橡胶树乳浆的新的热和化学处理提高了深海仪器的水密，其强度和弹性适用于测深仪器。储缆器使测深缆在船横摇时能伸缩。使用蒸汽动力大大有助于保持船位和操纵仪器。测深总是辛苦、困难的工作，需要几个小时的手工搬运笨重的麻绳卷和所附重物，这一工作常在划艇中进行，而用像桨的样子使艇稳定。接着英国威廉·汤姆孙爵士（以开尔文爵士为后人所知）发明了琴丝的测深机，用在英国船“塔斯卡罗拉”号和后来的“勃雷克”号海岸测绘船上，查理·西格斯比上尉改进了汤姆孙的机器，1874—1875 年在墨西哥湾海底取得大量数据。

后几年“勃雷克”号上进一步改进成功地用钢缆于挖掘设备。这是一位有海洋科学训练的富有的工程师亚历山大·阿加西兹提出来的，他设计了并用自己的财产制造了设备。他为海岸测绘局航行了几个航次，并在波士顿哈佛大学比较动物学博物馆报告中发表其结果。1882 年英国渔业部门制造了“信天翁”号蒸汽助力帆船主要用于海洋研究，上面装备了新设备，用钢缆于挖掘、拖曳和锚泊等作业。

“信天翁”号在大西洋和太平洋上的若干年，主要作为生物学研究船，也观测深海深度和分层的温度。在盛产海豹裘皮和鲑鱼的阿拉斯加和阿留申群岛海岸停留了几年。随“信天翁”号在太平洋调查的科学家中最著名的就是亚历山大·阿加西兹。1900 年他领导的航次补充了此前“挑战者”号从塔希提到智利航测时得到的资料，发现大片海底高原，现在以船命名。

那时英国公司从事海底电报的铺设和维护，对探测海床的新技术很感兴趣。电报铺设维护公司发明了一种蒸汽推动和手动的测深机器，1887 年弗朗西斯·卢卡斯注册了专利，包括盘有细缆的鼓，缆由舷侧的计米滑轮收放，记录放下的缆长。测深重块到达海底，缆失去

负载时刹住鼓，读下计米滑轮数字，将缆重缠在鼓上。1898 年紧凑而高效的卢卡斯测深机将过去测深所需的时间缩短了一半，在英国海军中停止使用麻绳。

个人捐赠用于海洋科学

海洋科学研究的规模很大，像现在更大规模的现代空间研究一样，只能用国家甚至国际力量来完成。但在帆船时代即将结束时，少数富翁的捐赠对科学意义很大。我们在第六章中已经提到约翰·默里爵士的捐赠，他的财富来自印度洋中圣诞岛发现的磷矿。默里在怀维尔·汤姆孙死后当了“挑战者”号报告的编辑，分析和分类了这次探险所得的深海和其他国家调查的海底样品。铺海底电缆的船的样品越来越多。在比利时地质学家阿尔丰斯.F. 勒那的帮助下，他编辑出版了一套海底底质图。现在认为他是海底地质科学的奠基人。默里捐赠了他的财产建立英格兰的实验室设备，1910 年支付了挪威政府借“米夏埃尔·萨斯”号 4 个月大西洋航次的可观的支出（Deacon，1971）。

那时欧洲另一位海洋科学的热心支持者是摩纳哥的阿尔伯特一世亲王。从 1885 年起他每年派他的私人帆船“伊隆戴尔”号出海研究海洋动物学，在他的努力下科学家登船出海，他用跟踪专门设计并放下的浮子的方法订正北大西洋的表面流海图。铜盖玻璃球装有九种文字的信要求送还时说明捞起的日期和地点。不久他就有了更有力的蒸汽艇做这个工作，用闭合网和颠倒采水瓶等新仪器研究海洋动植物的栖息地。他不仅指挥他的各条船，而且指导海洋科研项目［McConnell（1982）］。1910 年他出资在摩纳哥建立他所有的新的世界闻名的博物馆和研究中心——海洋博物馆。他也负责在巴黎建立海洋研究所。他编辑出版了一套海图，1902 年在柏林召开的国际地质大会上发表，这套图有实际用途，因为它给电报和科学考察提出更多海床信息。1904 年出版了 24 帧图。

我们提到瑞士裔动物学家的儿子亚历山大·阿加西兹不仅用工程

师知识成功地改进深海仪器，还贡献了他成功地经营铜矿（他家是主要持股者）所得的全部私人财产。他还积极地从与他有关系的人处为海洋研究筹集捐助。他从他父亲手里接下比较动物学博物馆馆长职位，他所讲的课激励了学生。他用自己的钱扩大了博物馆，用他在海洋考察中搜集来的样品扩大了科学藏品。那时政府对自然科学支持很少，科学家对生存竞争理论很感兴趣，阿加西兹想试验查理·达尔文的太平洋众多珊瑚环礁生成的“下沉说”，参加“勃雷克”号和“信天翁”号等船的多个航次考察，验证了深海生物学的流行理论。为纪念他对海洋科学的贡献，加利福尼亚斯克里普斯研究所造的7条科研用艇就以他的名字命名。

已经谈到在美国西部太平洋岸边的著名的斯克里普斯研究所是斯克里普斯赞助的。Day（2002）提到E. W. 斯克里普斯相信他由出版报纸所得财产投入海洋研究能造福全人类。1900—1920年，另一个私人捐赠的组织卡内基基金会赞助了调查地球磁场的多个航次。

澳大利亚国家项目

1901年英国在澳大利亚的6个殖民地联合成澳大利亚联邦。在此之前澳大利亚大陆架的海洋研究已由英、法早期探险家所做的测绘发展到英国海军的详细的水文工作，接着英国海军与各个殖民地政府合作，澳大利亚科学家做了海洋现象的系统观测和总结。在墨尔本大学T. W. 福勒（1898）用各个在殖民地之间航行的蒸汽船，有规律地沿澳大利亚海岸线航行以采集水样测量密度，记下采集水样时刻的温度。他的考察结果得到出版并提交澳大利亚科学发展协会（AAAS，成立于1888年，1930年改名ANZAAS），出席早年AAAS的人数反映了科学的普及率和对科学将给人类生活带来好处的认知度。

19世纪殖民地政府对科学拨款很少。更值得注意的是悉尼观象台台长亨利·钱伯兰·罗塞尔的成就。罗塞尔是生于澳大利亚的科学之家，悉尼大学早年的毕业生（1859年学士）。他在新南威尔士政府天文学家任内在全国建立了观象台，从1879年起每天在报纸上发布天

气图。70年代电报延伸到所有的首府，悉尼、墨尔本和阿德雷德的观象台的合作，使大气报告成为可能。他投放、采集漂流瓶以研究澳大利亚沿岸海域。罗塞尔像福勒一样与沿岸航行的船长合作，在各地投放漂流瓶。瓶用木架固定，内装流转记录建议发现人把瓶子交还给悉尼观象台。罗塞尔在1894—1902年《新南威尔士皇家学会会刊》中发表了一系列文章，表列、成图和讨论了漂流瓶漂流的终点、流迹、时间和速度。还包括进入悉尼港的船搜集的沿岸流速度和方向的资料。漂流瓶分析中的很大的不确定问题是很难确定漂流所走的准确路线，长距离油然，只能靠推测。只有在20世纪出现卫星遥感以后才能监测漂流浮标的运动。

与联邦政府同时出现的是第一次澳大利亚海域连续的海洋研究计划。1909年3月至1914年12月间联邦政府支持1908年7月联邦渔业局长，挪威裔渔业专家赫拉尔德·克利斯提安·丹尼维格领导的澳大利亚东南沿岸海域的多学科研究。项目的目的是圈定主要居民区附近适于商业捕鱼的拖网渔场。1906年联邦政府考虑了丹尼维格的建议后，计划建造在潜在渔场工作的研究用拖网船。丹尼维格的父亲是把捕鱼技术引入挪威的第一人。丹尼维格生在挪威阿伦达尔附近，1912年来澳大利亚担任新南威尔士政府的渔业和鱼类学研究专员。他年轻时的画像见图7.2，当时正在长于海洋科学的克里斯提安纳（今奥斯陆）大学就读，由著名的动物学家格奥尔格·奥西安·萨斯指导。

在“奥罗雅”号到悉尼长途航行中，丹尼维格调查了澳大利亚渔场中欧洲人喜欢食用的鱼的成鱼洄游。那时对澳大利亚附近海域鱼的可口程度和丰度知之甚少，而认为欧洲鱼较好，但是驯化计划效果很小。丹尼维格在悉尼附近的哈京港设计并建造了鱼场，也用当地鱼种做了实验。丹尼维格（1907）不仅对养鱼还对影响海中鱼的丰度的物理条件感兴趣。

丹尼维格在给联邦当局的报告中（1906）发表了他的意见，船不仅是商业拖网渔船，而应装备科研专用仪器。提建议的同时，附上挪威研究拖网船“米夏埃尔·萨斯”号的计划和仪器的副本，“米夏埃尔·萨斯”号专门建来供科研用，仪器通过伦敦的挪威使馆的机构获



图7.2　澳大利亚出生的海洋学家赫拉尔德·克里斯提安·丹尼维格，澳大利亚联邦1909—1914年首个海洋科学项目负责人。赫拉尔德·克里斯提安·丹尼维格私人收藏

得。为科研目的在新南威尔士的船坞建造"努力"号，适于在澳大利亚沿岸海域进行同类研究。

"努力"号船

"努力"号在悉尼建造，1908年8月27日在菲茨罗伊船坞下水。是载重量335吨拖网船，有双桅和一个烟囱，丹尼维格（1909）详细描写道：

改装很多的现代拖网船，其主绞车特别有力，带有2 000英寻2英寸和半英寸、一英寸拖网绳缆。装在快速旋转的绞车轴上1 500英寻，半英寸水文测量缆。右舷照常规配备，并装有操作大型海豹网用的95英尺头绳，左舷装有卢卡斯测深机（5 000米钢琴丝），装有各种用途的起锚柱。在后甲板有实验室，可做初步的实验，储藏各种特殊仪器，包括深海采水瓶、温度计等。

“努力”号所做的项目

丹尼维格（1909）在他第一份给国会的报告中苦心描绘需要付出可观的时间于测深及测绘工作，因为他的目的是指出怎样和哪里会有大量好鱼，而不是打回港口更多的鱼获。他说对海底的了解对拖网至关重要，关于水体物理性质的知识有助于了解鱼类运动。他写道：

为了研究海流和它与鱼类的丰度和迁徙的关系，与测绘同时进行了各种调查。……在最深1 200英寻的各种深度得到底样，各中间深度得到温度和水样。还从海面获得浮游生物采样，特别是要了解漂浮的鱼卵。

开始的12航次主要考察了巴斯海峡和塔斯马尼亚，对南澳海域进行一些初步测绘。丹尼维格说：“巴斯海峡的非常开阔的部分潮很强，生满珊瑚和海绵等，很难拖网，没有发现富产好鱼的地方。”在后来的航次中调查了大澳大利亚湾和新南威尔士海岸。

而联邦的海洋计划在1914年12月中断。11月“努力”号从霍巴特向南航去马夸里岛给那里的气象站送给养和换班的军官。在回程中这艘拖网船在南大洋遇到可怕的海况，被狂风掀翻。丹尼维格、生物学家查理·哈里森和全船水手一起丧了命，一次大型探险劳而无功。随后一次大战打响了，因船舶奇缺，没有船更换“努力”号，联邦渔

业局长的位置一直空着。

“努力”号成果的出版

作为联邦政府项目的一部分，商贸部拨款出版一套澳大利亚与海外科学家写的“努力”号探险的海洋学发现，题为《鱼类学》。1911年出版第一卷，1933年出全，“努力”号项目科学成果的影响在领导和船失去之后仍持续了很久。

项目进行中，丹尼维格写了地质学和气象学方面的调查报告，1915年他死后《鱼类学》连同他的讣告一同出版。丹尼维格（1915a）用他的测深和底质调查讨论了巴斯海峡的生理学。他想找出底质的类型和深度与潮流以及海面波浪的关系。他认为有一股由西向东的漂流，属于托姆恰克等（1984）此前所论及的那种类型。丹尼维格（1915b）论及波浪在澳大利亚东岸能在40英寻（73米）深扰动底质的海区，解释“努力”号观测到的底质成分变化与波、流的关系。他在巴斯海峡发现大陆架滑入塔斯曼海的“深沟”，显示出“陡峭的边界”，现在我们称之为巴斯峡谷。

在发展中国家中项目主要是为了促进商业捕捞的实用，不仅是好奇心推动的科学研究。资助这么大规模的纯海洋学研究可能远远超出20世纪初或美国100年前这么少的人口（不到400万人）的能力。

澳大利亚的南极探险

在澳大利亚联邦政府用“努力”号进行测绘时，澳大利亚科学进步协会（AAAS）支持科学家到澳大利亚以南探险，包括麦夸里岛和南极洲的乔治五世王地、玛丽王后地。探险队的组织者和领导是29岁的阿德雷德大学地质学讲师、悉尼大学毕业生道格拉斯·毛森。他曾参加1907—1909年恩斯特·歇克尔顿领导的英国南极探险，取得了经验。他是AAAS资助的科学家的核心之一。他申请组成澳大利亚南极探险队，得到公众支持和AAAS的批准。这是属于澳大利亚人民

的科研项目。

探险队由为此目的从英国购来的载重量600吨木帆船"曙光"号载往南极洲。图7.3绘制的"曙光"号有165英尺长，装有98马力的辅助燃煤引擎，为在南极水域捕鲸和海豹而加固。"曙光"号的船长和探险队的副指挥是约翰·金·戴维斯。船上装有专门仪器特殊准备用来探查南极大洋。"曙光"号1911年12月离霍巴特港艰难地跨过咆哮的南纬40°，探险队在"努力"号因此而沉没两年后补给了马夸里岛气象站。这个岛也是无线电中继站，把气象资料由南极基地传到墨尔本气象机构，这是在南极探险中首次利用无线电。



图7.3　1911—1913年道格拉斯·毛森领导的澳大利亚南极探险中"曙光"号靠近歇克尔顿冰架的威尔德站的浮冰旁。"曙光"号船长、探险队的副指挥约翰·金·戴维斯驾船5个航次建立南极大陆和歇克尔顿冰架的马夸里岛越冬站前为之补给。这几个航次最早探测了南大洋，以及从塔斯马尼亚到南极洲的海底剖面。

澳大利亚探险队一直工作到1913年夏，提供了丰富的东经90°与155°间南极海岸和大陆架磁、气象、地质、生物和海洋科学数据。戴

维斯船长在“曙光”号上只得到少量用里希特和埃克曼颠倒温度计测得的垂直温度和盐度测值，测深值描绘了该扇形区内南极大陆架海底剖面。科学专家分析这些现场数据所得报告装成22卷AAE科学报告，其中的《水文报告》1940年出版。

探险队回来后不久，第一次世界大战爆发，中断了对他们的发现的分析。毛森和几位科学家参了军。罗伯特·贝克和蒂斯利·勃雷克在战争中牺牲，生物学家查理·哈里孙随“努力”号沉没。战后毛森收集了数据和样品，分发给澳大利亚和海外的专家。光辉的弗兰克·赫黎电影摄影和他的美丽的画册《南方淘金人》和毛森的著作《暴风雪之乡》、戴维斯著的1911—1914年随《“曙光”号航行南极洲》激发了澳大利亚人的想象。

英国、新西兰和澳大利亚的南极探险（BANZARE）

下一个10年由澳大利亚、英国和新西兰给了足够的资金筹划第一次南极探险，毛森被任命为队长。澳、英、新联合南极考察探险队1929—1930年和1930—1931年夏季扬帆向南航行。探险队注册了加固的485吨“发现”号，仿照1901年罗伯特·斯科特乘坐去南极的三桅帆船装配，不是最舒服的船，但装备了海洋学仪器，包括回声测深仪，使海底测绘大大简化了。20年代美国海军的哈威·海斯博士设计的回声仪器可以在南大洋30 000海里以上的旅程中连续测量。仪器观测的精密度定期用卢卡斯测深机的数据校正。

1929—1930年BANZARE夏季航次由开普敦驶往凯尔盖朗岛，为蒸汽辅助船建立供煤站，这对保持一个站或在冰区活动是非常重要的。“发现”号证明煤的储备是到那个海域的限制因素，戴维斯船长的储煤减少到极限水平时他就坚持回凯尔盖朗岛，甲板上载的轻型水上飞机使探险队能比从船上更广地测绘海岸线，船总是不能像科学家要求那样靠近海岸线。摄影家弗兰克·赫黎又参加了探险，航拍了很漂亮的照片，装潢了探险后的科学著作和科普报告。

毛森队长关于恩德比地附近丰富的捕鲸场的报告“百万磅产品”

引起公众兴趣，在全球经济萧条时资助第二航次。“发现”号1930年11月扬帆向南，由霍巴特经马夸里岛和巴仑尼群岛去考察南极洲，乔治五世地和此前发现的陆地之间的海岸线，又可能航拍了。与墨尔本间有无线电联系，并为挪威捕鲸船的供煤做了安排，用回声测深仪发现冰以下有大陆。这些航次提供的地理资料在澳大利亚1936年申请占有南极大陆的一角的事件中很重要。

科学和工业研究的机构

成立联邦后围绕澳大利亚的水文工作放缓了。澳大利亚皇家海军水文部1921年方成立。然后测绘大多用英国原产的蒸汽船进行。他们对物理海洋学的贡献不大，1926年澳大利亚建立科学和工业协会（CSIR，CSIRO的前身），到“努力”号项目结束后20年的1936年，联邦政府一直给渔业部门以特殊拨款。那一年在靠近悉尼的丹尼维格养鱼场哈京港的地方建了海洋实验室，联邦调查船“瓦林”号在墨尔本的威廉斯唐船坞造成。这是条围网船，长85英尺。1940年“瓦林”号航行计划不仅包括鱼产调查，还有在从布里斯班到霍巴特的大陆架海域50米深的多个水文项目。“瓦林”号有蒸汽动力的优势，能在固定站位有规律地采集水样和温度、盐度数据。然而“瓦林”号的工作很快由于第二次世界大战的爆发而中断，1942年停业，船交给澳大利亚皇家海军指挥。战后“瓦林”号交还部里，科学家在龙虾业的支持下沿西澳大利亚的西南岸做水文研究。

CSIRO渔业部1950年决定购买调查船在塔斯曼海做海洋学项目，选择72英尺双桅霍巴特渔船“德文·亨特”号，改装成纵帆船，加装实验室设备和辅助柴油动力，这条船挂着如画的红帆。它为CSIRO做渔业和物理海洋学考察直到1960年，选择帆动力在沿海工作的主要原因是不依赖于燃料供应（图7.4）。

然后进行国家蓝水海洋项目。1954年到1959年，CSIRO纵帆船“德文·亨特”号在东澳大利亚南纬30°到南纬37°之间500海里以内航行了多次。用挂在1 000米缆上的颠倒温度计和采水瓶，布鲁斯·



图7.4　CSIRO纵帆船"德文·亨特"号，20世纪50年代用于在从澳大利亚海域研究海洋学，停在CSIRO在霍巴特的建筑前，室顶上清楚可见卫星锅形天线。[复制自 The Marine Studies Bulletin，1988]

哈蒙（1965）画出沿岸密度结构图。海面高度的等高线由海水密度算出。他发现在大陆架60海里的边缘向南或东南方向的流，估计搬运的水的容积约为湾流或黑潮的一半。在几个航次中他还发现同等强度的北向或东北向的流，在流的主轴以东70～200英里。还有几个航次发现悉尼附近在南向和北向流间有东向流，说明此海域可能有涡流结构。

下一个10年中CSIRO渔业和海洋学部的澳大利亚学家同意这个意见，1960年起他们用澳大利亚皇家海军装在帆舰"加斯哥尼"号上的蒸汽动力详细研究这支海流。布鲁斯·哈蒙10年的工作搞清楚了常常存在约150海里直径的强顺时针方向的涡流，海面流速大约4节。现在从卫星图像有规律地测量海面温度可知，东澳大利亚海流有明显的涡流结构（与湾流和黑潮相似），最终向南分成一组暖涡旋。跟踪这些涡旋的运动，监视其融合和分散能得出对渔业有用的信息。

暖芯涡旋的偶然向南侵入塔斯马尼亚东岸，可以指示在适温为13.5℃与16℃间有贵重的鲅鱼。

1958年“德文·亨特”号的各航次也很重要，布鲁斯·哈蒙（2000）和尼尔·布朗在单独的缆上放下他们发明的仪器做了首次试验把数据传到船上来，海水的电导值指示了其盐度含量。温度也对盐度有很大影响，同时测量电导和温度并在电路中自动校正温度的影响可在现场测定盐度。这比起当时耗时的从深海采集咸水样在船上分析的方法是很大的进步。温盐可在很多深度同时测量，盐度计可指示海洋特性的微小尺寸变化。尼尔·布朗（1991）说哈蒙在试验中第一个测定压力对海水盐度的影响。克劳斯·威尔提（2002）回忆他在所罗门海用这种新仪器得到当时没有听到的1°精确度。现在称为CTD的电导率、温度、深度记录器是现代海洋学家广泛应用的仪器。

1956年CSIRO渔业和海洋学部主任乔治·亨佛莱把澳大利亚的海洋学带进国际舞台，澳大利亚参加了13国1960—1965年国际印度洋考察（IIOE）。现在澳大利亚海洋学家已参加国际海洋学家的组织，参与各个国际计划。

“德文·亨特”号时代的回忆

“德文·亨特”号是海洋研究的帆船时代的最后代表。参加其航次的人还对当时的工作条件记忆犹新。曾当过纵帆船船长的理查·戴维斯写道：

> 说“德文·亨特”号上的环境是严酷的还是起码的……在厨房一食堂里人们坐在前舱和右舷的条凳上，背对着一排盛烧炉子的煤油的方形四加仑铁皮桶，最初用含甲醇的酒精，后来用煤油，避免偷饮。厨房的后门是实验室，有唯一的浴室下水，实验室由船员和军官共用，还有其他科学家睡的躺椅，脚和小腿伸进开着的门外的衣橱内。帆和锚链前是厕所和特别的泵，必须冒着风浪去（Mawson，Tranter and

Pearce, 1988)。

大概理查·戴维斯的描写能帮助我们了解过去200年间海洋学家曾经经受的严酷、有时是风浪交加的环境。横跨塔斯曼海航行中需要越过由霍巴特至亚南极水团间的亚热带辐合带，"德文·亨特"号在南纬44°40′遇到蒲氏8~9级（40~50节）的风。主桅被吹跑。一名舱面水手为保存主帆伤了两个指头，然后他的同事跌倒在甲板上伤了前额。

> 下午用支索帆航行，我们被更大的西南向涌举起，然后被非常狂暴的西北向浪的峰拍击，使我们的船裂口。两个人拼命搬住轮子，驾驶破浪艇似的船，浪打过甲板直到帆杠的垫木。在疯狂的打击下，"亨特"号在波谷时，汹涌的波浪冲过甲板，风还在峰顶，支索帆在约60英尺低处无助地拍动着，厨房舱门滑开了，露出五张浮世绘里的面孔。

这段描写无疑与法国"星盘"号军官－科学家1826年在南印度洋碰到山一样的巨浪时或1840年美国人的"孔雀"号在南大洋丢失了舵漂回悉尼时共鸣。应该记住这些帆船时代的先驱海洋学家的坚忍不拔精神。时代变化了，现在海洋学在柴油驱动的船上，在舒适的条件下用相当先进的仪器研究，不仅从海面观测，还在海面以下、水面上的飞机，最近还从环绕地球的空间飞船观测海洋。

跋

我们的故事讲述的年代是从为了国家的经济利益保守海洋知识的机密转变到为了人类的利益国际合作研究海洋科学。荷兰东印度公司花了一个世纪探索新几内亚以南的通道时，西班牙的贸易公司却对这条海峡的知识讳莫计算如深。17 世纪末丹皮尔的著作广泛传播了他的海风和海流的知识。然后有一个时代提高国家的声誉的愿望推动了探险和获得的知识的出版。政府资助的华贵的查迪蒙－迪维尔及查理·威尔克斯的报告就是例证。19 世纪后半叶，环球贸易航线和提高用帆做动力的船的运输效率产生默累的体系，从各国海军舰船和商船收集海况记录。墨尔本观象台的诺伊梅耶在用大圆航线去澳大利亚中起了很重要的作用。志愿观测船（VOS）网通过卫星将其数据传至世界中央数据中心供给海洋预报系统，有利于所有的海洋用户。

早年的海洋学家主要为求知的好奇心所驱动，他们由政府资助工作，而政府的要求有时是很实用的。作为他们工作的成果，我们现在可以收获海洋的果实，使世界大量的居民比他们的先辈居住在更惬意的环境享受更高质量的生活。海洋学家从海洋及其边界的探险中的发现构成了我们在 20 世纪中管理海洋和海岸资源的基础，粗略地认识气象和预报其变化。

在我们认识大洋涡流的道路上有很多里程碑，航海钟的发明是很突出的，用它可以足够的精密度定位，别人可重新为观测定位。精确确定经度对研究海洋物理学具有重要的技术意义。不仅继承他们的航海家这时更有保证安全地找到航线，科学观测也可被校准、重复或延长。

19 世纪前 1/4 自然科学探险有很富于成果的进步，后来让步于观

察与观测。仪器制造者在新科学方面起重要作用。温度计、气压计和湿度计的改进，提高了测量大气和海洋的精确度。费时费力地采集数据以描绘一些特征量的全球分布，如海流、温度和盐度，很多这种测量都是海员做的，他们的工作并没有直接利益，但他们的观测却构成后人解释自然现象的根据。1782 年华孙主教的愿望慢慢地实现了，他那时说人类希望能够：

> 在这个为了科学和好奇而航海的年代，盐分度在每个纬度和每个季度都能用准确的实验测定。

19 世纪接受了这个挑战。日复一日，每隔 2、4 或 6 小时海军军官和科学家在他们的探险和测绘长期航行时勤奋地测量大气和海洋的情况，有人想总结他们的工作，有人对自己提出的理论过分自信。有人希望有一天某个“权威的意志”，像蒲福施加的，用条令和体系来取代他们的大量的，但系统的采集。

海洋表面循环的概括开始于 19 世纪 50 年代，那时前后楞次也构成垂直循环的第一个模型，在极点下沉，而在赤道上升。其他概念，例如深海有个无生命层，同时海底区有恒定 4℃ 的不流动层，要等到铺设深海电报需要提供足够的信息的动力才能推翻。

研究海洋科学资助的职位缓慢地增加。海洋国家海军提供了一些，但当帆船的退出舞台，了解海洋物理的需要减少了。海洋研究的费用不列在传统的支持好奇心推动的研究的那些组织、科学院、学院、大学的预算中。海洋研究的消耗很大。直到 19 世纪末，北半球有共同利益的国家间的合作促进“大”科学发展。摩纳哥阿尔伯特大公能用他私人的帆船载着国际考察队作海洋研究。他承认所有国家合作的价值，当了现在叫做海洋物理科学协会（IAPSO）的首任主席。

海洋学常常把船员和科学家扔在一个船里。军舰或商船的领导对科学的性质的认识有矛盾。我们看到气氛破坏了，有时造成破坏性后果。包丹率领传奇的赴澳大利亚航次载运人到地球的另一边画出、记录他们所见的，但仅有很少的法国科学家留下来回去报告研究所。很

多人离职了。有些航次，为了避免这个矛盾，例如威尔克斯和罗斯领导计划的，只带了少数物理学家，而依靠非专家解释海洋观测结果。这些诚实的人缺少当时的先进知识而出错。罗斯的平均温度的循环，第四章的讨论基于还没有证明的假想，就是海水的最大密度存在于4℃温度。

商业和军事航海大师是海洋科学的重要财政支持。帆船年代的结束使物理海洋学所需的船舶活动费用（比较）减少了，海洋学家现在可能负担得起运输他们的设备的费用了，矛盾已经淡化了，作为一个整体，航海家和科学家为他们共同的目的更亲密了。

帆船时代让位于蒸汽船时代，21世纪的科学能应用宇航时代的技术。海洋表面可以空间观测研究，轨迹高于地面数百、千米的卫星遥感海表面温度、波浪、风、海流的起伏和遮挡海面接受不到太阳热量的云，现在通过赤道上巡行的通讯卫星在地面站或海洋中的船上采集信息。船长不用做以太阳和月亮间距离为单位的枯燥的计算，现在可以连续从分布在一定位置的一系列导航卫星接收位置的改变。图像和数据由遥感获得，可以由计算机组织和分析，有时卫星是载人的，1984年海洋学家保尔·斯居莱－保厄乘“挑战者”号飞船环绕地球飞行。从小小的舷窗中他可以观察到海面上有巨大的漩涡和螺旋，现在的海洋学家还不能解释它。

19世纪美国从事海洋学的先驱还为意见不一、经验不足、支持的研究所少、研究人员知识匮乏等所困扰，但到20世纪后美国已拥有支配地位的财富和技术。前苏联也曾深入进行海洋学研究，出版了很漂亮的《世界地图》［戈尔什科夫（1974）］，描述了我们关于海洋气候的知识。

不久前出版精美插图的航次报告或数据表格还比较昂贵。但是出版还是传播知识和发展理论的关键。没有安排相应的出版工作的一些探险对海洋科学的发展的影响不大，例如马拉斯皮纳没有出版海洋观测，威尔克斯探险所做物理观测没有出版使这个航次对物理学的作用很小。

海洋学的先驱赢得我们尊敬，他们的事迹值得大书特书。19世纪

30年代弗兰索瓦·阿拉果提出他那个时代航海家研究的物理问题时可以宣称：

> 每天人类知识的进步证明先辈是多么愚蠢；我们在取代我们的人眼里又是怎样的呢？

我们的故事正是说明我们的海洋科学前辈们是如何“愚蠢”，又是如何强烈地在困难危险中推动海洋科学，为了知识的发展探索海洋。

鸣　谢

作者感谢已故的乔治·迪肯爵士，1981 年他以皇家学会资深院士身份访问悉尼。乔治爵士早年研究南方冷水的物理海洋学。后来他从事波浪研究，以他对海洋学的贡献而受封。他来悉尼大学访问时，不仅给我们看了赫尔利的抖动的毛森的“发现”号在航行的影片，还要我们注意普莱斯维奇 1875 年编辑、评价的 1872 年至 1876 年“挑战者”号考察中前辈们所做的深海测温记录。对乔治爵士最近一次访问对蹠大陆，我们感谢他在研究探险南大洋过程中对海洋学的贡献。

我们在此还感谢辛西娅·琼斯和亚历山大·琼斯参加这个项目。悉尼原 CSIRO 的布鲁斯·哈蒙校阅了稿件并提出很多好的建议。

先驱海洋学者的贡献已很难追溯，新南威尔士图书馆的米切尔图书馆和悉尼大学渔业图书馆的藏书尤为珍贵。我们在此尽量由敬见于文章中找出很多久被遗忘的报告和数据，汇集成一册《帆船时代的海洋学》以飨读者。

参考文献

Akademia Nauk U.S.S.R., (1926) *The Pacific: Russian Scientific Investigations*, reprinted (1969) Greenwood, New York.

Andrews, J. C., M. W. Lawrence and C. S. Nilsson (1980) Observations of the Tasman Front, *Journ. Phys. Oceanogr.*, **10**, p.1854.

Anon, (1987) *CSIRO Research for Australian Oceanography*, CSIRO, Pamphlet 14.

Arago, François (1836) Instructions concernant La Physique du Globe, redigées par M. Arago, reproduced in *Voyage Autour du Monde de l'*Astrolabe *et de la* Zélée, Elie Leguillou, chirugien-major de la Zelée (1842) Paris.

Arago, François (1838) Rapport sur les resultats scientifiques de l'expédition de La *Bonité*, deuxième partie - Observations relatives à la Physique, *Comptes Rendus Séanc. Acad. Sci.*, pt 1, Paris, p.481-483.

Arago, François (1841) Rapport sur les traveaux scientifiques exécutés pendant le voyage de la frégate la *Vénus*, commandée par M. le capitaine de vaisseau Du-Petit-Thouars, *Comptes Rendus Séanc Acad. Sci.*, **xi**, Paris, p.298-343.

Austin, R. H. (1981) *History of the CSIRO Marine Laboratories*, Aust. Mar. Sc. Bull. No 74.

Barratt, Glynn (1979) *The Russian Navy and Australia to 1825*, Hawthorn Press, Melbourne.

Barratt, Glynn (1981) *Russia in Pacific Waters 1715-1825: A Survey of the Origins of Russia's Naval Presence in the North and South Pacific*, Univ. Brit. Columbia Press, Vancouver and London.

Bassett, Marnie (1962) *Realms and Islands: The World Voyage of Rose de Freycinet, 1817-1820*, Oxford Univ. Press, London.

Bassett, Marnie (1966) *Behind the Picture: H.M.S.* Rattlesnake*'s Australia and New Guinea Cruise, 1846-1850*. Oxford Univ. Press, Melbourne.

Bateson, C. (1974) *The Convict Ships 1787-1868*, A. H & A. W. Reed, Sydney.

Baudin, N. (1974) *Journal of Post-captain Nicolas Baudin Commander-in-Chief of the corvettes* Géographe *and* Naturaliste, translated by C. Cornell, Libraries Board of South Australia, Adelaide.

Beaglehole, J. C. ed. (1957-1969) *The Journals of Captain James Cook,* 4 vols, Hakluyt Soc., Cambridge.

Bellingshausen, F. F. (1945) *The Voyage of Captain Bellingshausen to the Antarctic Sea,* Hakluyt Soc., Cambridge.

Berghaus, Heinrich (1845) *Physikalischer Atlas, Hydrologie, Hydrographie,* J. Perthes, Gotha.

Biot, J.-B. (1848) Narrative of the United States Exploring Expedition, Premier Article, *Journ. des Savants,* p.672-87, p.709-28.

Biot, J.-B. (1849) Narrative of the United States Exploring Expedition, Troisième Article, *Journ. des Savants* , p.65-83.

Bougainville, H. de (1837) *Journal de la Navigation autour du Globe de la frégate la* Thetis *et de la corvette l* 'Espérance *pendant les années 1824-1826,* 2 vols, A. Bertrand, Paris.

Branagan, D. F. (1972) The *Challenger* Expedition and Australian Science, *Proc. Roy. Soc. Edinburgh.* (B), 73, p.85.

Branagan, D. F. (1985) Phillip Parker King: Colonial Anchor Man, in From Linnaeus to Darwin: commentaries on the history of biology and geology, *Soc. Hist. Nat. Hist.,* London.

Brosse, Jacques (1983) *Great Voyages of Exploration, The Golden Age of Discovery in the Pacific,* Bordas, Paris, translated S. Hochman (1986), Doubleday, Sydney.

Burstyn, H. L. (1966) Early Explanations of the Role of the Earth's Rotation in the Circulation of the Atmosphere and the Ocean, *Isis,* 57, 2, No 188, p.167-189.

Burstyn, H. L. (1968) Science and government in the nineteenth century: the *Challenger* expedition and its report, *Bull. de l'Institut Océanographique,* Numéro spécial 2, Monaco.

Burstyn, H. L. (1975) Science Pays off: Sir John Murray and the Christmas Island Phosphate Industry, 1886-1914, *Soc. Stndies of Science,* 5, 1, London.

Charnock, H. (19772) Fitzroy: Meteorological Statist, *Proc. Roy. Soc. Edinburgh.* (B), 72, p.115.

Charnock, H. (1973) H.M.S. *Challenger* and the Development of Marine Science, *Journal of Navigation*, **26**, 1.

Dampier, William (1906) *A Discourse of Trade-Winds, Breezes, Storms, Seasons of the Year, Tides and Currents of the Torrid Zone Throughout the World*, (1699) in vol 2 of *Voyages and Discoveries*, J. Masefield ed., E. Grant Richards, London.

Dampier, William (1939) *A Voyage to New Holland* (1703 and 1709), J. Williamson ed., Argonaut Press.

Dannevig, H. C. (1906) *Notes Concerning the Proposed Federal Exploration Vessel*, Australian Archives, CRS A523 T&C 06/14903.

Dannevig, H. C. (1907) On some Peculiarities in our Coastal Winds and their influence upon the abundance of fish in inshore waters, *Journ. Roy. Soc. NSW*, **41**, p.27-45.

Dannevig, H. C. (1909) Report by Director of Fisheries on Fishing Experiments carried out by the F.I.S. *Endeavour* for Period 12th March to 7th September, 1909, *Parl. Papers of Commonwealth of Australia*, No 69.

Dannevig, H. C. (1913) *Notes on Australian Fisheries with a Summary of the Resalts obtained by the* F.I.S. Endeavour, Dept. of Trade and Customs of the Commonwealth of Australia, 15 pp, plus plates.

Dannevig, H. C. (1915a) Bass Strait, *Zool. (Biol.) Results Fish. Exp. "Endeavour"*, **3**, Aust. Dept. Trade and Customs, p.347-353.

Dannevig, H. C. (1915b) The Continental Shelf of the east coast of Australia, *Zool. (Biol.) Resalts Fish. Exp. "Endeavour"*, **3**, Aust. Dept. Trade and Customs, p.339-344.

Davis, J. K. (1962) *High Latitude*, Melb. Univ. Press, Melbourne.

Day, A. A. (1966) The Davelopment of Geophysics in Australia, *J. and Proc. Roy. Soc. of New South Wales*, **100**, p.38-60.

Deacon, G. E. R. (1934) The Northern Boundaries of Antarctic and Sub-Antarctic Waters at the Surface of the World Ocean, in *Oceanography: Concepts and History*, M. Daacon ed. (1978), Benchmark Papers in Geology, **35**, Dowden, Hutchinson & Ross, Pennsylvania.

Deacon, G. E. R. (1963) The Southern Ocean, in *The Sea,* M. N. Hill, General Editor, Interscience, New York, 2, p.554.

Deacon, G. E. R. (1968) Early scientific studies of the Antarctic Ocean, *Bull. Inst. Océanogr. Monaco,* Numéro spécial 2, p.269-79.

Deacon, Margaret (1971) *Scientists and the Sea 1650-1900: A study of marine science.* Academic Press, London.

Deacon, Margaret, ed. (1978) *Oceanography. Concepts and History,* in Benchmark papers in Geology, 35, Dowden, Hutchinson & Ross, Pennsylvania.

De Beer, G. R. (1960) *The Sciences were Never at War,* Nelson, London.

De Haven, E. J. (1842) Unpublished journal, aboard the *Peacock* and the *Oregon* (18 July 1841- 12 June 1842), M 75 Microform records of the United States Exploring Expedition under the command of Lieutenant Charles Wilkes, 1838-1842, Roll 24, Nat. Archives, Washington, 1944.

Dittmar, W. (1884) On the composition of ocean-water, *Proc. Philosoph. Soc. of Glasgow,* 16, p.47-73.

Dixon, William (1935) Dumont D'Urville and Lapérouse, *Journ. Roy. Aust. Hist. Soc.,* 21, p.361.

Domont d'Urville, Jules S.-C. (1830-1835) *Voyage de la corvette l'*Astrolabe *exécuté par ordre du Roi, pendant les anneés 1826, 1827, 1828, 1829, sous le commandement de M. Jules S-C Dumont d'Urville,* 13 vols, 4 atlases, Tastu et Cie, Paris.

Dumont d'Urville, Jules S.-C. (1833) Notice sur la température de la mer à diverses profondeurs in *Voyage de découvertes de l'* Astrolabe *pendant les années 1826-1829, Observations nautiques, metéorologiques, hydrographiques et de physique,* publié par le ministre de la marine, Paris.

Dumont d'Urville, Jules S.-C. (1842-1854), *Voyage au Pôle Sud et dans l'Océanie sur les corvettes l'*Astrolabe *et la* Zelée, *pendant les années 1837-1840,* 11 vols, Paris.

Dumont d'Urville, Jules S.-C. (1987) H. Rosenman ed., *Two Voyages to the South Seas,* 2 vols, Melb. Univ. Press, Melbourne.

Dunmore, J. (1965, 1969) *French Explorers in the Pacific,* 1, *The Eighteenth Century,* 2, *The Nineteenth Century*, Oxford.

Duperrey, M. L. I. (1829) *Voyage autour du monde exécuté par ordre du Roi sur la corvette de sa Maj. la* Coquille *pendant les années 1822, 1823, 1824 et 1825*, A. Bertrand, Paris.

Du Petit-Thouars, A. A. (1841-1845) *Voyage autour du monde sur la frégate* la Vénus, *pendant les années 1836-1839*. 10 vols, *Physique*. 6-10, by Urbain Dortet de Tessan, Paris.

Duplomb, Charles (1927) *Journal de Madame Rose de Saulces de Freycinet d'après le manuscrit original accompagné de notes*, Paris.

Edwards, R. J. (1979) Tasman and Coral Sea ten-year mean temperature and salinity fields, 1967-1976. *CSIRO Aust., Div. Fish. Oceanogr. Rep.* 88.

Etheridge, R. (1919) The Australian Museum; Fragments of its Early History, *Records of Aust. Mus.*,The Director and Curator ed., 12, no 12.

Findlay, A. G. (1851) *A Directory for the navigation of the Pacific Ocean*, 2 vols, R. H. Laurie, London.

Findlay, A. G. (1853) Oceanic currents and their connection with the proposed Central- American canals, *Journ. Roy. Geog. Soc.*, 23, p.217-237.

Fitzhardinge, V. (1965) Russian ships in Australian waters, 1807-1835, *Journ. Roy. Aust. Hist. Soc.*, 51, p.113-147.

Fitzroy, R. and F. F. King, (1839) *Narrative of the surveying voyages of* H.M.S. Adventure *and* Beagle, *between the years 1826 and 1836.*, 3 vols, Henry Colburn, London, published in facsimile (1977) by The Folio Society, London.

Fleurieu, C. P. Claret (1801) *A Voyage around the World performed during the years 1790, 1791, and 1792 by Etienne Marchand preceded by an historical introduction and illustrated by charts*, translated from the French. T. N. Longman and O. Rees, Vol I, London.

Flinders, M. (1802) (Unpublished manuscript) Records of the Board of Longitude, 51, London.

Flinders, M. (1814) *A Voyage to Terra Australis in the years 1801, 1802 and 1803 in his Majesty's Ship, the* Investigator, 2 vols and atlas, G. & W. Nicol, London.

Forchhammer, G. (1865) On the composition of sea-water in the different parts of the ocean, *Phil. Trans.*, 155, p.203-262.

Forster, J. R. (1778) *Observations made made during a Voyage round the World, on Physical Geography, Natural History und Ethic Philosophy,* London.

Fowler, T. W. (1898) A Contribution to Australian Oceanography, *Aust. Assoc Advanc. Science,* no 4.

Freycinet, L. C. de Saulces de (1815) *Voyage de découvertes aux terres australes,* Vol 3, *Navigation et Géographie,* Imprimerie Royale, Paris.

Freycinet, L. C. de Saulces de (1824-1844) *Voyage autour du monde sur les corvettes de S. M. l'* Uranie *et la* Physicienne *pendant les années 1817, 1818, 1819 et 1820,* Vol 4, *Metéorologie* (1844), Imprimerie Royale, Paris.

Gaskell, T. F. and G. S. Ritchie (1953) H.M.S. *Challenger's* World Voyage 1950-52, Part 1, Atlantic and Pacific Oceans, *International Hydrographic Review,* Nov. 1953.

Gilmour, A. (1969) Fishing in Bass Strait, in *Bass Strait: Australia's Last Frontier,* Aust. Broadcasting Commission, Sydney, p.61-68.

Godfrey, J. S., I. S. F. Jones, J. G. H. Maxwell and B. D. Scott, (1980) On the Winter Cascade from Bass Strait into the Tasman Sea, *Aust. J. Marine Freshwater Research,* 31, p.275.

Gorshkov, S. G. (1978) *Atlas of the Oceans,* Pergamon Press, Oxford, 306pp..

Hadley, J. (1731) A Description of a new instrument for taking angles, *Philos. Trans. Roy. Soc,* 37, p.147-157.

Halley, Edmund (1686) An Historical Account of the Trade Winds and Monsoons, observable in the Seas between and near the Tropicks, with an attempt to assign the Phisical cause of the said Winds, *Philos. Trans. Roy. Soc.* 16, p.153-168.

Hamon, B. V. (1961) The Structure of the East Australian Current, *Technical Paper No. 11,* Division of Fisheries and Oceanography, CSIRO, Melbourne.

Hamon, B. V. (1985) Early Mean Sea Levels and Tides in Tasmania, *Search,* 16, No 9-12, Oct/Dec .

Herdman, W. A. (1923) *Founders of Oceanography, and their work: An introduction to the Science of the Sea,* Arnold & Co, London.

Herschel, J. F. W. et al. (1851) *A Manual of scientific enquiry; prepared for the use of Her Majesty's Navy, and adapted for travellers in general,* 2nd edn, John Murray, London.

Hoare, M. E. (1976) *The Tactless Philosopher: Johann Reinhold Forster (1729-98)*, Hawthorne Press, Melbourne.

Hoare, M. E. (1982) *The* Resolution *Journal of Johann Reinhold Forster*, Hakluyt Society, London.

Hodgkinson, R. (1975) *Eber Bunker of Liverpool:"The Father of Australian Whaling"*, Roebuck Soc. Publication No 15, Canberra.

Horner, F. (1987) *The French Reconnaissance: Baudin in Australia 1801-1803*, Melb.Univ. Press, Melbourne.

Humboldt, A. von (1849) *Cosmos: A Shetch of a physical description of the universe*, trans. E. C. Otte, London.

Hurley, Frank (1925) *Argonauts of the South*, G. P. Putnam, New York.

Huxley, T. H. (1935) *Diary of the Voyage of* H.M.S. Rattlesnake, Julian Huxley ed., Chatto and Windus, London.

Hydrographisches Amt d. Reichs-Marine-amts (edit) 1880-1890, *Die Forschungsreise S.M.S. "Gazelle" in den Jahren 1874-76*, 5 vols, Berlin.

Ingleton, G. C. (1944) *Charting a Continent*, Angus & Robertson, Sydney.

Ingleton, G. C. (1986) *Matthew Flinders: Navigator and Chartmaker*, Genesis Pub., Surrey, in assoc. with Hedley, Aust.

Jenkins, J. S. (1850) *Explorations and Adventures in and around the Pacific and Antartic Oceans, being the voyage of the U.S. Exploring Squadron, commanded by Captain Charles Wilkes of the U.S. Navy 1838, 1839, 1840, 1841 and 1842*, Hurst & Co, New York.

Johnston, A. K. (1848 and 1850) *The Physical Atlas; The Geographical Distribution of Natural Phenomena, based on the Physikalischer Atlas of Professor H. Berghaus*, Edinburgh and London.

Jones, I. S. F and J. E. Jones, (1980) Early Nineteenth Century Oceanography around Terra Australis, in *Oceanography: The Past*, eds M. Sears and D. Merriman, Springer-Verlag, New York.

Jones, J. E. (1984) Marine Investigations in Bass Strait - the First One Hundred Years, *Aust. Marine Sc. Bull.*, 87, p.14-17.

Jones, I. S. F. and J. E. Jones (1989A) Probing the Oceans on Cook's Second Voyage, *Newsletter Aust. Met. Oceanogr. Soc.*, **2**, p.22.

Jones, J. E. and I. S. F. Jones (1989B) Early Oceanographic Measurements off South-Western Australia in *Great Circle*, **2**, 1.

Jukes, J. B. (1847) *Narrative of the Surveying Voyage of* H.M.S. Fly, *commanded by Captain F. P. Blackwood in Torres Strait, New Guinea, and the islands of the Eastern Archipelago during the years 1842-46*, T. &W. Boone, London.

King, P. P. (1826) *Narrative of a Survey of the Intertropical and Western Coasts of Australia performed between the years 1818 and 1822*, 2 vols, Facs. edition 1969, Lib. Board of Sth Aust., Adelaide.

Krusenstern, A. J. von (1824) *Recueil de mémoires hydrographiques d'Analyse et d'Explication à l'Atlas de l'Océan Pacifique par le Commodore de Krusenstern*, St. Petersbourgh.

Labillardière, J. J. H. (1800) *Voyage in Search of La Pérouse Performed by order of the Constituent Assembly during the years 1791, 1792, 1793 and 1794*, trans. from the French, John Stockdale, London, facs. edition 1971, Da Capo Press, New York.

Laplace, C. P. T. (1833-1839) *Voyage autour du monde par les mers de l'Inde et de la Chine exécuté sur la corvette de l'état la* Favorite *pendant les années 1830, 1831 et 1832 sous le commandsment de M. Laplace, capitaine de frégate*, 7 vols, Imprimerie Royale, Paris.

Laplace, C. P. T. (1841-1853) *Campagne de circumnavigation de la frégate l'*'Artemise *pendant les années 1837, 1838, 1839 et 1840 sous le commandement de M. Laplace, capitaine de vaisseau*, 6 vols, Imprimerie Royale, Paris.

Leguillou, Elie (1842) *Voyage autour du Monde de l'* Astrolabe *et de la* Zélée, Paris.

Leighly, J. (1968) M. F. Maury in his time, *Bull. de l'Institut Océanographique*, Numéro spécial 2, Monaco.

Lenz, E. (1830) Ueber das Wasser des Weltmeers in verschiedenen Tiefen, in Rucksicht auf die Temperatur und den Salzgehalt, in Poggendorf, J. C. *Annalen der Physik und Chemie*, Herausgegeben zu Berlin, **20**, Leipzig, p.73-106.

Lenz, E. (1832) On the temperature and saltness of the waters of the ocean at different depths *Edinburgh Journ. Sci.*, 2nd series, **6**, p.341-42.

Lenz, E. and G. F. Parrot, (1832) Experiences de forte compression sur divers corps, *Mem. Acad. Imp. Sci.* (6) *Sciences mathematiques, physiques, et naturelles,* **2**, p.595-630.

Lenz, E. (1847) Bermerkungen uber die Temperatur des Weltmeeres in verschiedenen Tiefen, *Bulletin de la classe Physico-Mathematique de l'Académie Impériale des Sciénces de St. Petersbourgh* (1845-1846) **5**, cols 65-74.

Lockyer, N. (1915) Harald Christian Dannevig in *Zool. (Biol.) Results Fish. Exp. "Endeavour"*, 3, Aust. Dept. Trade and Customs, p.iii-vi.

Loewe, F. (1965) The First Australian "Government Meteorologist", *Aust. Meteorol. Mag.*, **48**, p.46.

McConnell, A. (1980) Six's Thermometer: A Century of Use in Oceanography, in *Oceanography: The Past*, eds M. Sears and D. Merriman, Springer-Verlag, New York.

McConnell, A. (1982) *No Sea Too Deep: The History of Oceanographic Instruments,* Adam Hilger, Bristol.

McCulloch, A. R. (1911) Report on the Fishes obtained by the F.I.S *Endeavour* on the coasts of New South Wales, Victoria, South Australia and Tasmania in *Zool. (Biol.) Results Fish. Exp. "Eadeavour"*, 1, Aust. Dept. Trade and Customs, p.1-87.

MacGillivray, J. (1852) *Narrative of the voyage of* HMS Rattlesnake *1846-1850, commanded by the late Captain Owen Stanley R.N., F.R.S.*, 2 vols, T. & W. Boone, London.

MacLeod, R. ed. (1988) *The Commonwealth of Science: ANZAAS and the Scientific Enterprise in Australia 1888-1988,* Oxford Univ. Press, London.

Malaspina, D. Alejandro (1885), *La vuelta al mundo por las corbetas "Descubierta" y" Atrevida" al mando del capitan de Navio D. Alejandro Malaspina desde 1789 a 1794*, with an introduction by Pedro de Novo y Colson, Madrid.

Marcet, A. (1819) On the specific gravity and temperature of Sea Waters, in thifferent parts of the Ocean, and in particular seas; with some account of their saline contents, *Phil. Trans. Roy. Soc.*, **109**, London, p.161-208.

Marchant, L. R. (1982) *France Australe*, Artline Books, Perth.

Marchant, L. R. (1988) *An Island unto Itself: William Dampier and New Holland,* Hesperian Press, Perth.

Matthaus, W. (1968) The historical development of methods and instruments for the determination of depth-temperatures in the sea in situ, *Bull. Inst. Océanogr. Monaco*, Numéro spécial 2, p.35-47.

Maury, M. F. (1861) *The Physical Geography of the Sea and its Meteorology*, edn 8, J. Leighly ed., 1963, Belknap/Harvard Univ. Press, Cambridge.

Mawson, D. (1940) Hydrological Observations, *AAE Reports*, Series A, 2, pt 4, p.103-104.

Mawson, V., D. J. Tranter and A. F. Pearce eds, (1988) *CSIRO at Sea: 50 Years of Marine Science*, Globe Press, Melbourne.

Mellersh, H. E. L. (1968) *Fitzroy of the* Beagle, Mason and Lipscomb, USA.

Moyal, Ann Mozley ed. (1976) *Scientists in nineteenth-century Australia: A documentary history*, Cassell, Australia.

Murray, J. (1895) *A Summary of the Scientific Results* in *Report on the Scientific Results of the Voyage of* H.M.S. Challenger, HMSO, London.

Navarrete, Martin Fernandez de (1810) *Idea general del discurso y de las memorias publicadas por la direccion hidrografica sobre los fundamentos que ha tenido para la construccion de las cartas de marear, que ha dado a lus desde 1797*, Madrid.

Neumayer, G. (1864) *Results of the Meteorologicul Observations taken in the Colony of Victoria, during the years 1859-1862 and of Nautical Observations Collected and Discussed at the Flagstaff Observatory Melbourne, during the years 1858-1862*, Govt. Printer, Melbourne.

Neumayer, G. (1867) *Discussion of the Meteorological and Magnetical Observations made at the Flagstaff Observatory, Melbourne, during the years 1858-1863*. J. Schneider, Mannheim.

Nozikov, N. (Trans. 1945) *Russian Voyages Around the World*, M. A. Sergerev ed., E. & M. Lesser, Hutchinson.

Péron, F. (1807) *Voyage de découvertes aux terres australes*, Vol 1 *Historique.*, Imprimerie Impériale, Paris.

Péron, F. (1809) *A voyage of discovery to the Southern Hemisphere, performed by order of the Emperor Napoleon during the years 1801, 1802, 1803 and 1804*, Richard Phillips, London,

Péron, F. and Freycinet, L. C. de S. de (1816) *Voyage de découvertes aux terres australes,* Vol 2 *Historique*, Imprimerie Royale, Paris.

Presl, K. B. (1825-1835) *Reliquiae Haenkeanae seu Descriptiones et Icones Plantarum quas in America meridionali et boreali, in Insulis Philippinis et Marianis collegit Thaddeus Haenke, redegit et in ordinem digressit Carolus Bor. Presl*, 2 vols, folio; Prague, Facs. 1973 with introd. by William Thomas Stearn .

Prestwich, J. (1875) Tables of Temperatures of the Sea at different depths below the Surface, reduced and collated from the various observations made between the years 1749 and 1868, discussed. With Maps and Sections, *Phil. Trans. Roy. Soc.*, 165, p.587-674.

Ritchie, G. S. (1967) *The Admiralty Chart: British naval hydrography in the nineteenth century.* Hollis and Carter, London.

Ritchie, G. S. (1968) The Royal Navy's contribution to oceanography in the XIXdı century, *Bull. Inst. Océanogr. Monaco*, Numéro spécial 2, p.121-131.

Ross, J. C. (1847) *A voyage of discovery and research in the Southern and Antarctic regions, during the years 1839-1843,* 2 vols, John Murray, London, reprint (1969) David and Charles, London..

Russell, H. C. (1894-1902) Current Papers, *Proc. Roy. Soc. NSW.*

Savours, A. and A. McConnell (1982) The History of the Rossbank Observatory, Tasmania, *Annals of Science*, 39, p.527-64.

Schlee, Susan (1973) *The Edge of an Unfamiliar World: A History of Oceanography*, E. P. Dutton, New York, 398pp.

Sigmond, J. P. and L. H. Zuiderbaan (1979) *Dutch Discoveries of Australia*, Rigby, Sydney.

Solemdal, P., E. Dahl, D.S. Danielsson, and E. Moksness, (1984) The Cod Hatchery in Flodevigen - Background and Realities, in The Propagation of Cod *Gadus morhua L.*, *Flodevigen Rapportser*, 1, p.17-45.

Somerville, Mary (1849) *Physical Geography,* 2 vols, John Murray, London, rev.edn.

Song, Zenghai, Y. Guo, R. Chen, and L. Ye, (1990) Formation and Development of Traditional Oceanography in Ancient China (-1840 A.D.), *Deutscke Hydrogr. Z, Erg.-H.B*, Nr. 22, p.287-92.

Spry, W. J. J. (1877) *The Cruise of her Majesty's ship "Challenger"; Voyages over many Seas, Scenes in many Lands,* edn 5, London.

Stanley, O (1849) On the lengths and velocities of waves, *Report of the 18th meeting of the Brit. Assoc. for the Adv. of Science, 1848.*

Stanton, W. (1975) *The Great United States Exploring Expedition of 1838-1842,* Univ. California Press, Berkeley.

Stokes, J. Lort, (1846) *Discoveries in Australia during the Voyages of* H.M.S. Beagle, *1837-1843,* 2 vols, T & W Boone, London.

Stuart, Frederic D., Unpublished journal of the voyage of the *Peacock,* 19 August, 1838-22 July, 1841, M 75 in microfilm records of the United States Exploring Expedition, under the command of Lieutenant Charles Wilkes, 1838-1842, Roll 20, Nat. archives, Washington: 1944.

Tizard, T. H., H. N. Moseley, J. Y. Buchanan, and J. Murray (1884) *Narrative of the Cruise of* H.M.S. Challenger, *with a general Account of the Scientific Results of the Expedition.* HMSO, London.

Tomczak, M., M. Z. Jeffrey, and M. A. H. Marsden, (1984) Currents in Bass Strait from Drift Cards, *Bass Bulletin,* 5, p.7.

Viana, Francisco Javier de (1849) *Diario del viaje explorador de las corbetas espanolas* Descubierta y Atrevida *en los anos 1789 a 1794,* Madrid.

Waldersee, J. (1988) The Malaspina Expedition 1789-1794, in *Terra Australis,* eds W. Eisler and B. Smith, Int. Cultural Corp. of Australia, Sydney.

Wallace, Colin (1984) *The Lost Australia of François Péron,* Nottingham Court Press, London.

Watson, R. (1782) Of the saltness and temperature of the sea, in *Chemicul Essays,* 2nd edn 2, Evans & Evans, London, Vol 2, p.93-159.

Weddel, J. (1825) *A Voyage towards the South Pole, performed in the years 1822-24,* Longman Hurst et al., London.

White, J. (1790) *A journal of a voyage to New South Wales,* J. Debrett, London.

Wilkes, C. (1844, 1845) *Narrative of the United States Exploring Expedition 1838, 1839, 1840, 1841, 1842,* 5 vols, Lea & Blanchard, Philadelphia.

Wilkes, C. (1848) On the Depth and Saltness of the Ocean, *Amer. Journ. Sci and Arts*, 5, no 13 (Jan. 1848), p.41-48.

Wilkes, C. (1859) On the Circulation of the Oceans, Part of unpublished volume 24 of *The United States Exploring Expedition* presented as a paper to the Amer. Philos. Assoc., Philadelphia.

Wilkes, C. (1840) Unpublished journal, Vol 1 for 10 Aug, 1838-Feb 2, 1840, aboard the *Vincennes* and the *Porpoise*, M 75 Microfilm records of the United States Exploring Expedition under the command of Lieutenant Charles Wilkes, 1838-1842, Roll 7, Nat. Archives, Washington, 1944.

Wright, R.C. (1983) Lieutenant Jeffreys and *Kangaroo*, *Journ. Roy. Aust. Hist. Soc.*, 69, Pt 2, p.83-93.

Wüst, G. (1968) History of investigations of the longitudinal deep-sea circulation (1800-1922), *Bull. Inst. Océanogr. Monaco*, Numéro spécial 2, p.109-120.

Wyville Thomson, C. (1877) *The Voyage of the* Challenger: *The Atlantic*, MacMillan, London.

Wyville Thomson, C. and J. Murray (1885) *Report of the Scientific results of the Voyage of H. M. S.* Challenger *during the years 1872-1876, Narrative of the Cruise*, HMSO, London.